

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»  
 Отделение нефтегазового дела

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов</b>

УДК 622.692.4:551.345:53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ72	Маношкин Никита Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД ИШПР	Харламов С. Н.	д.ф.-м. н., профессор		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД ИШПР	Романюк В. Б.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООД	Черемискина М. С.			

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОИЯ ШБИП	Забродина И. К.	к.п.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А. В.	д.т.н, доцент		

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по Основной образовательной программе подготовки магистров

по направлению **21.04.01 «Нефтегазовое дело»**

Профиль подготовки: Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов.

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критерии и/или заинтересованных сторон</i>
<b>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</b>		
<b>Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»</b>		
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы области интеллектуальной собственности</i>	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20
<i>в области проектной деятельности</i>		

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i>	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<b>Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»</b>		
P9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли
P10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.013 " Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"
P11	Повышение надежности, долговечности, эффективности газотранспортного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.013 "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОНД ИШПР  
  
 \_\_\_\_\_ **Бурков П.В.**  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ72	Манюшкин Никите Сергеевичу

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.02.2019 г. №1064/с
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является начальный участок трубопровода при течении вязкой углеводородной среды (нефти).
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) Провести расчеты изменений полей скорости; распределений температуры по длине трубопровода; зависимости теплового пограничного слоя от длины трубопровода. 2) Анализировать процессы конвективного теплообмена в условиях развивающегося потока и формирования теплового и динамического пограничных слоев по длине. 3) Произвести сравнительный анализ интегро-дифференциальных и точных методов моделирования динамики и теплообмена при течении углеводородных сред в трубопроводах.

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)		
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)		
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>	
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк В. Б., к.э.н., доцент ОНД ИШПР	
«Социальная ответственность»	Черемискина М. С., ассистент ООД	
«Иностранный язык»	Забродина И. К., к.п.н, доцент ОИЯ ШБИП	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		
Реферат		

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
профессор ОНД ИШПР	Харламов С. Н.	д.ф.-м.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2БМ72	Манюшкин Н. С.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ72	Манюшкину Никите Сергеевичу

Школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надёжность газонефтепроводов и хранилищ»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Места проведения работ – север Ямало-Ненецкого автономного округа, территория НПС (открытая местность) и рабочий кабинет, оснащенный ПК площадью 36 м <sup>2</sup> . Ведутся работы по обслуживанию пункта подогрева нефти (ППН): снятие показаний контрольно-измерительных приборов, визуальный контроль оборудования, переключение запорной арматуры в соответствии с технологическими режимами. Работы в помещении: проведение теплогидравлических расчетов, анализ НТД и методических пособий. Работы ведутся в теплое и холодное времена года.
---	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов производственной среды в следующей последовательности:	1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе; 2. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу и методы их предотвращения; 3. Повреждения в результате контакта с насекомыми; 4. Отклонение показателей микроклимата в помещении; 5. Недостаточная освещённость рабочей зоны; 6. Монотонный режим работы и эмоциональные перегрузки.
2. Анализ выявленных опасных факторов производственной среды в следующей последовательности:	1. Поражение электрическим током; 2. Повышенная температура поверхности оборудования; 3. Пожаро-взрывоопасность.
3. Экологическая безопасность:	1. Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 2. Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3. Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	1. Перечень возможных ЧС на объекте; 2. Выбор наиболее типичной ЧС; 3. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 4. Разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; 5. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
5. Правовые нормы обеспечения безопасности:	1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Черемискина М.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ72	Манюшкин Н.С.		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ72	Маношкину Никите Сергеевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	Транспорта и хранения нефти и газа
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01. Нефтегазовое дело Профиль «Надёжность газонефтепроводов и хранилищ»

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Затраты на приобретение и установку пункта подогрева нефти, ставка тарифа на транспортировку нефти
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Постановление Правительства РФ от 1 января 2002 года №1 «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс РФ; Е – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E = 0,12$ ; $\alpha_1$ – нормативное значение годовых отчислений на амортизацию ППН, $\alpha_1 = 0,085$ .

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Расчёт увеличения прибыли при перекачке нефти с подогревом за счёт увеличения пропускной способности нефтепровода
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- расчёт затрат на транспортировку нефти с подогревом - расчёт снижения энергопотребления - расчёт экономического эффекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт экономической эффективности применения технологии транспортировки с подогревом

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Линейный календарный график выполнения работ
2. Расчётные формулы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Романюк В. Б.	к.э.н, доцент		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ72	Маношкин Никита Сергеевич		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Уровень образования магистр  
 Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.02.2019	Обзор литературы	10
15.02.2019	Общие сведения об объекте исследования	10
01.03.2019	Построение методики расчета	15
22.03.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
03.04.2019	Социальная ответственность	15
20.04.2019	Приложение на иностранном языке	15
28.04.2019	Заключение	5
20.05.2019	Презентация	15
	Итого	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД ИШПР	Харламов С.Н.	д.ф.-м.н., профессор		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А. В.	д.т.н, доцент		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 104 с., 15 рис., 16 табл., 52 источников.

Ключевые слова: гидродинамика, теплообмен, приближенное решение, углеводородная среда, моделирование, трубопровод, конвекция, Крайний Север, многолетнемерзлые грунты.

Объектом исследования является начальный участок трубопровода при течении нефти

Цель работы – исследование теплообмена и гидродинамики нефти Уренгойского месторождения, транспортируемой по магистральному нефтепроводу в условиях Крайнего Севера.

В процессе исследования проводились расчеты изменений полей скорости, распределений температуры по длине трубопровода; зависимости теплового пограничного слоя от длины трубопровода. Анализировались процессы конвективного теплообмена в условиях развивающегося потока и формирования теплового и динамического пограничных слоев по длине.

В результате исследования был произведен сравнительный анализ интегро-дифференциальных и точных методов моделирования динамики и теплообмена при течении углеводородных сред в трубопроводах на начальных участках в режимах вязкостно-инерционного ламинарного и турбулентного течения и теплообмена. На основании полученных результатов было выявлено, что прогноз интенсивности теплообмена вполне корректно можно проводить по рекомендуемым критериальным связям для сопротивления и теплообмена. Результаты находятся в хорошем соответствии с имеющимися опытными данными. Это позволяет избежать аварийного функционирования оборудования при транспортировке сырья и иметь заключения об особенностях гидродинамических и тепловых эффектов, сопровождающих течение и теплообмен в условиях Крайнего Севера.

Область применения: промысловые, технологические и магистральные трубопроводы, по которым транспортируется углеводородное сырьё в жидком состоянии.

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Маношкин Н.С.			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов С.Н.					9	104
Консульт.						НИ ТПУ г.р. 25М72		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

## ОБОЗНАЧЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- РД 39-30-139-79 Методика теплового и гидравлического расчета магистральных трубопроводов при стационарных и нестационарных режимах перекачки ньютоновских и неньютоновских нефтей в различных климатических условиях;
- СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»;
- СНиП 2.05.06-85 «Магистральные трубопроводы»;
- ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы»;
- ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;
- ГОСТ 12.1.003–83 «Шум. Общие ТБ»;
- ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность»;
- ГОСТ 12.1.007 «Вредные вещества»;
- ГОСТ 12.1.011-78\* «Классификация взрывоопасных смесей»;
- РД 34.21.122-87 «Инструкция по молниезащите зданий и сооружений»
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах»;
- СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»;

В настоящей выпускной квалификационной работе применяются следующие обозначения:

$t_0$  – начальная температура

$t_c$  – температура стенки

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Маношкин Н.С.			Обозначения, нормативные ссылки	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов С.Н.					10	104
Консульт.						НИ ТПУ зр. 2БМ72		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

$\Delta$  – толщина теплового пограничного слоя

$d$  – диаметр трубы

$r_0$  – радиус трубы

$k$  – безразмерная толщина теплового пограничного слоя

$\xi$  – коэффициент сопротивления

$\rho$  – плотность перекачиваемой среды

$\mu_c$  – динамический коэффициент вязкости в тепловом пограничном слое

$\mu_0$  – начальный динамический коэффициент вязкости среды

$\theta$  – безразмерная температура среды

					Обозначения, нормативные ссылки	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

## Оглавление

Введение.....	14
1 Краткий обзор проблем исследования гидродинамики и теплообмена при течении вязких сред в каналах.....	16
1.1 Современное состояние исследований внутренних течений при транспортировке углеводородных сред.....	16
1.2 Понятие о начальном участке течения и теплообмена в трубах.....	17
1.3 Расчет начального участка в круглой трубе в рамках интегро-дифференциального метода .....	18
1.4 Теплообмен в термическом начальном участке .....	23
1.5 Основы тепловых расчетов нефтепроводов.....	27
2 Объект и данные исследования .....	44
3 Построение методики расчета .....	46
4 Результаты работы и их обсуждение .....	54
5 Социальная ответственность.....	62
5.1 Производственная безопасность .....	63
5.2 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды и обоснование мероприятий по их устранению.....	64
5.2.1 Полевые работы .....	64
5.2.2 Работы в помещении.....	69
5.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды и обоснование мероприятий по их устранению.....	73
5.3.1 Полевые работы .....	73
5.4 Экологическая безопасность.....	77
5.4.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу.....	77
5.4.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу .....	78

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Маношкин Н.С.			Оглавление		Лит.	Лист
Руковод.		Харламов С.Н.						12
Консульт.								104
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.					НИ ТПУ гр. 2БМ72	

5.4.2 Анализ воздействия объекта на литосферу.....	79
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
5.6 Правовые нормы обеспечения безопасности.....	83
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	87
6.1 SWOT анализ.....	88
6.2 Оценка готовности к коммерциализации.....	88
6.3 План проекта.....	91
6.4 Расчет экономического эффекта перекачки с подогревом.....	92
6.5 Расчет снижения потребления электроэнергии.....	95
Заключение.....	97
Список литературы.....	99

## ВВЕДЕНИЕ

Исследование гидродинамики и теплообмена в трубопроводном транспорте углеводородных сред является важнейшим в моделировании процессов течения. Гидравлические режимы трубопроводов вязких нефтей во многом зависят от тепловых режимов. Тепловые процессы, в свою очередь, определяются гидравлическим состоянием потока. Таким образом, важное научное и практическое значение имеют сведения о теплообмене и течении на начальном участке трубопровода, т.к. в системе магистральных трубопроводов роль входного участка в общей теплоотдаче велика из-за специфики формирования процессов переноса импульса и тепла при взаимодействии потока со стенкой.

В связи со сложной характеристикой течения вязких сред в трубопроводах в условии вязкостно-инерционных режимах течения, нестационарных режимах функционирования трубопроводного комплекса, существенного влияния переменных теплофизических свойств, влияния внешних сил на локальную структуру течения теплообмена особый интерес в приложениях имеют методы, позволяющие получить сведения об интегральных и локальных характеристиках и теплообмене в рамках некоторых приближенных моделей процесса, для описания которых, наряду с точными методами, используют, так называемые, полуэмпирические интегро-дифференциальные подходы.

Представленный в работе метод дает возможность достаточно точно описать структуру течения и теплообмен в трубопроводе при схематическом рассмотрении процесса двумя зонами (ядра течения и пограничного слоя) при условии, что толщина слоя релаксации возмущения тепловых и динамических величин должна быть известна или рассчитана на основе

					<i>Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Маношкин Н.С.</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Руковод.		<i>Харламов С.Н.</i>					14	106
Консульт.						<i>НИ ТПУ зр. 25М72</i>		
Рук-ль ООП		<i>Шадрина А.В.</i>						

соотношений, полученных с привлечением законов сохранения импульса, энергии для ламинарных потоков.

Цель работы – исследование теплообмена и гидродинамики нефти Уренгойского месторождения, транспортируемой по магистральному нефтепроводу в условиях Крайнего Севера.

Для достижения поставленной цели, решались следующие задачи:

- Систематизация данных об использовании в прогнозах конвективного теплообмена и гидродинамики в трубах приближенных интегро-дифференциальных методов;
- Исследование структуры течения и теплообмена углеводородной среды в условиях развивающихся по пространству вязких сред;
- Выдача рекомендаций по прогнозу сопротивления и теплообмена при транспортировке нефти в экстремальных условиях.

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

# 1 Краткий обзор проблем исследования гидродинамики и теплообмена при течении вязких сред в каналах

## 1.1 Современное состояние исследований внутренних течений при транспортировке углеводородных сред

При моделировании динамики и теплообмена на начальном участке трубопровода физические свойства среды вследствие зависимости от температуры изменяются во времени и по координатам. Так как поля скорости и температуры взаимно связаны, то такие задачи требуют совместного интегрирования уравнений движения и энергий. К тому же, в связи с нелинейностью исходных уравнений возникают затруднения при построении численного решения. Поэтому моделирование и расчеты теплообмена и течений при переменных физических свойствах проводятся приближенными методами и охватывают небольшой круг эффектов течения.

Анализ входного участка вызывает интерес исследователей [1-7] и детально рассматривался в [8-10]. В [1-7] авторы приводят результаты численного и аналитического решений, которые достаточно хорошо описывают процессы, происходящие на начальном участке, и сходятся с данными экспериментальных исследований структуры потока.

В [11-12] подробно описаны особенности эксплуатации трубопроводов и способы транспортировки нефти и нефтепродуктов в условиях Крайнего Севера.

Все эти данные [1-12] могут служить в качестве апостериорного материала для проверки адекватности математического моделирования.

					<i>Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Маношкин Н.С.</i>			<i>Обзор литературы</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Руковод.		<i>Харламов С.Н.</i>					16	104
Консульт.						<i>НИ ТПУ зр. 2БМ72</i>		
Рук-ль ООП		<i>Шадрина А.В.</i>						



## 1.2 Понятие о начальном участке течения и теплообмена в трубах

При ламинарном течении жидкости в круглой трубе движение на достаточно большом расстоянии от входного сечения профиль скоростей в любом сечении трубы [1] принимает параболический вид (1.1), а закон изменения давления вдоль трубы даётся формулой (1.2).

$$w = 2U_0 \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (1.1)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_0 - p_1}{l} = \frac{8\mu U_0}{R^2} \quad (1.2)$$

Эти результаты хорошо подтверждаются как первоначальными опытами Гагена и Пуазейля, так и экспериментами ряда других исследователей. Однако вблизи входа в трубу картина течения оказывается совсем иной. Если считать вход в трубу достаточно плавным, то жидкость, втекающая в трубу, будет иметь первоначальное распределение скоростей, почти постоянное по всему поперечному сечению. Только у самих стенок трубы вследствие прилипания скорость жидкости будет обращаться в нуль. Затем, по мере удаления от входного сечения, под влиянием сил вязкости будет происходить торможение слоев жидкости, всё более и более удалённых от стенок, и в конце-концов установится режим течения, который описывается формулами (1.1) и (1.2) и который мы в дальнейшем будем называть параболическим. При этом переход течения в параболическое будет, конечно, происходить асимптотически.

Считается, как предложил Прандтль, что параболический режим устанавливается, начиная с того сечения, для которого скорость на оси трубы отличается от величины  $2U_0$ , даваемой формулой (1.1), менее чем на 1 %. Тот участок трубы, на котором распределение скоростей изменяется от распределения, имеющегося в начальном сечении, до распределения, соответствующего (с точностью до 1 %) параболическому режиму, и будем именовать начальным участком (рис.1.1).

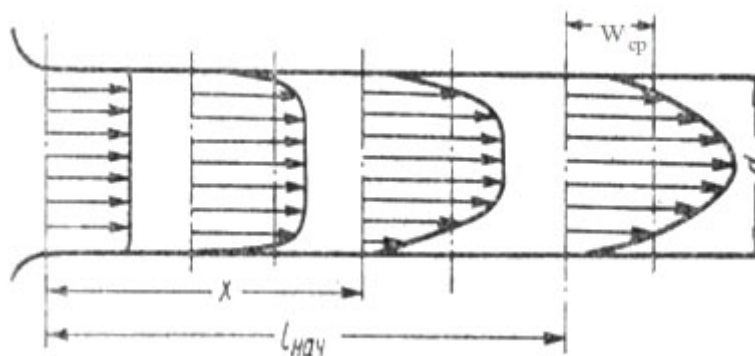


Рисунок 1.1 – Развитие профиля скорости в начальном участке [9]

Длина начального участка, как показывают и теоретические и экспериментальные исследования, оказывается достаточно большой, и учёт особенностей течения на этом участке при различного рода конкретных расчётах приобретает существенное практическое значение (например, в вискозиметрах, коротких трубопроводах и т. п.).

### 1.3 Расчет начального участка в круглой трубе в рамках интегро-дифференциального метода

Рассмотрим течение вязкой жидкости в круглой цилиндрической трубе радиуса  $r_0$ . Совместим с центром входного сечения начало осей цилиндрических координат и направим ось  $Ox$  вдоль оси трубы в сторону течения. Будем считать, что во входном сечении скорость среды всюду одинакова и равна  $U_0$ . Далее примем, что на достаточном удалении от входного сечения устанавливается параболический режим с профилем скоростей

$$w = 2U_0 \left( 1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right) \quad (1.3)$$

Тогда, вводя новое переменное

$$\varepsilon = \frac{r^2}{r_0^2}$$

При  $x = 0$   $w_x = U_0$ , при  $x = \infty$   $w_x = 2U_0(1 - \varepsilon^2)$ .

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Расчета течения в начальном участке может быть сведен к определению функции  $w_x(x, \varepsilon)$ , удовлетворяющим условиям выше и граничным условиям на стенках трубы.

Введем в рассмотрение функцию  $w(z, \varepsilon)$ , полагая

$$w_x = U_0 [2(1 - \varepsilon) - w] \quad (1.4)$$

Тогда задача сведется к определению функции  $w$  для которой:

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0 \quad w = 2\varepsilon - 1, \quad \text{при } x = \infty \quad w = 0; \\ \text{при } \varepsilon = 1 \quad w = 1 \end{aligned}$$

Перейдем к определению дифференциального уравнения, которому должна удовлетворять искомая функция  $w$ . Для этого обратимся к уравнениям движения жидкости в цилиндрических координатах. Считая, что в каждой данной точке скорость с течением времени не изменятся, отбросим в уравнениях производные по  $\tau$ . Далее, в силу симметрии течения выпадут все члены, содержащие  $w_\varphi$  и производные по  $\varphi$ . Массовыми силами будем пренебрегать. Наконец, считая, что изменение основной скорости  $w_x$  по направлению вдоль радиуса происходит значительно быстрее, чем в направлении оси трубы, пренебрежем производной  $\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2}$  по сравнению с  $\frac{\partial^2 w_x}{\partial r^2}$ . Тогда уравнения движения примут вид:

$$w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w_x}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_x}{\partial r} \right) \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r w_r)}{\partial r} = 0 \quad (1.6)$$

Исключим теперь из уравнений (1.5) и (1.6)  $w_r$  и перейдем затем к переменному  $\varepsilon$ . Для этого, интегрируя (1.6) по  $r$  и удовлетворяя условию  $w_r = 0$  при  $r = r_0$ , получим:

$$r w_r = - \int_{r_0}^r \frac{\partial w_x}{\partial x} r dr \quad (1.7)$$

Тогда, принимая во внимание  $\varepsilon = \frac{r^2}{r_0^2}$ , будем иметь:

$$w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} = -\frac{1}{r} \frac{\partial w_x}{\partial r} \int_{r_0}^r \frac{\partial w_x}{\partial x} r dr = -\frac{\partial w_x}{\partial \varepsilon} \int_1^\varepsilon \frac{\partial w_x}{\partial x} d\varepsilon \quad (1.8)$$

Так как, кроме того,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial w_x}{\partial r} = \frac{2}{r_0^2} \frac{\partial w_x}{\partial \varepsilon}, \quad \frac{\partial^2 w_x}{\partial r^2} = \frac{2}{r_0^2} \frac{\partial w_x}{\partial \varepsilon} + \frac{4}{r_0^2} \varepsilon \frac{\partial^2 w_x}{\partial \varepsilon^2},$$

То, подставляя все эти значения в (1.5), придем к уравнению

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} - \frac{\partial w_x}{\partial \varepsilon} \int_1^\varepsilon \frac{\partial w_x}{\partial x} d\varepsilon = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \frac{4w}{r_0^2} \frac{\partial^2}{\partial \varepsilon^2} \left( \varepsilon \frac{\partial w_x}{\partial \varepsilon} \right) \quad (1.9)$$

Подставив теперь в (1.9) вместо  $v_x$  ее значение из (1.5) и, полагая величину  $w$  малой, отбросим все члены, содержащие произведения  $w$  или ее производных.

Тогда, вводя обозначение

$$\Omega = \varepsilon \frac{\partial w}{\partial \varepsilon}$$

Получим следующее приближенное уравнение для определения  $\Omega$

$$\frac{r_0 R}{2} \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \frac{\partial \Omega}{\partial x} = \frac{\partial^2 \Omega}{\partial \varepsilon^2} \quad (1.10)$$

Где

$$R = \frac{r_0 U_0}{w} \quad (1.11)$$

Как видно из (1.6), приближенное уравнение (1.10) годится для достаточно больших  $x$  и будет давать значительные погрешности при  $x$ , близких к нулю, т.е. вблизи входного сечения, где предположение о малости  $w$  не выполняется.

Чтобы найти условие, которому удовлетворяет функция  $\Omega$ , заметим, что

$$\int_0^1 w d\varepsilon = -\int_0^1 \varepsilon \frac{\partial w}{\partial \varepsilon} d\varepsilon = -\int_0^1 \Omega d\varepsilon$$

В справедливости этого равенства легко убедиться, если воспользоваться для левого интеграла формулой интегрирования по частям.

С другой стороны, условие постоянства расхода, если принять во внимание обозначение  $\varepsilon = \frac{r^2}{r_0^2}$ , дает  $\int_0^1 w_x d\varepsilon = U_0$ . Подставляя сюда значение  $w_x$ , находим что  $\int_0^1 w d\varepsilon = 0$ . В результате получаем следующее граничное условие для  $\Omega$ :

$$\int_0^1 \Omega d\varepsilon = 0 \quad (1.12)$$

Кроме того, очевидно, будет:

$$\text{при } \varepsilon = 0 \quad \Omega = 0$$

Итак, задача свелась к нахождению решения уравнения (1.10). Будем искать решение в виде:

$$\Omega = ce^{\frac{2mx}{r_0 R}} \Psi(\varepsilon) \quad (1.13)$$

Где  $m$  и  $c$  – постоянные.

Подставляя в (1.10), найдем, что функция  $\Psi$  должна удовлетворять уравнению

$$\Psi'' = m \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \Psi = 0 \quad (1.14)$$

При этом, как легко видеть, граничные условия для  $\Psi$  сохраняют вид (1.12).

Решение уравнения (1.14) будем в свою очередь искать в виде ряда:

$$\Psi(\varepsilon) = \varepsilon - A_2 \varepsilon^2 + A_3 \varepsilon^3 - A_4 \varepsilon^4 + \dots \quad (1.15)$$

Подставляя этот ряд в (1.14) и уравнивая коэффициенты при одинаковых степенях  $\varepsilon$ , найдем:

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= \frac{m}{2}, & A_3 &= \frac{m}{6} \left( 1 + \frac{m}{2} \right), \\ A_4 &= \frac{m^2}{18} \left( 1 + \frac{m}{8} \right), & A_5 &= \frac{m^2}{120} \left( 1 + \frac{5}{6}m + \frac{m^2}{24} \right), \dots \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

Подставляя ряд (1.15) с коэффициентами (1.16) в условие (1.12), получим следующее уравнение для определения  $m$ .

$$1 - \frac{m}{4} + \frac{m^2}{45} - \frac{103m^3}{360 \cdot 280} + \frac{1097m^4}{360^2 \cdot 294} - \dots = 0 \quad (1.17)$$

Каждому из корней  $m_1, m_2, m_3, \dots$  уравнения (1.17) соответствует своя система коэффициентов и, следовательно, свое значение функции. В результате полное решение уравнения (1.10) представим в виде ряда и интегрируя полученный ряд по  $\varepsilon$  получим:

$$w = - \sum_{k=1}^{\infty} c_k^{-2 \frac{m_k}{r_0 R} x} \phi_k(\varepsilon) \quad (1.18)$$

Где

$$\phi_k = \int_{\varepsilon}^1 \Psi_k \frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$$

Приближенное решение скорости равно

$$w(x, \varepsilon) \approx -8,2 e^{-\frac{16}{r_0 R} x} \phi_1 \left( \frac{r^2}{r_0^2} \right) \quad (1.19)$$

$$w_x = U_0 \left( 2 - e^{-\frac{16}{r_0 R} x} \right) \quad (1.20)$$

где

$$\phi_1 = 0,160 - \varepsilon + 2\varepsilon^2 - 2,222\varepsilon^3 + \dots$$

Закон изменения осевой скорости, определяемый формулами (1.19) и (1.20), показан на рис. 1.2. Там же нанесена экспериментальная кривая, построенная по измерениям Никурадзе [12].

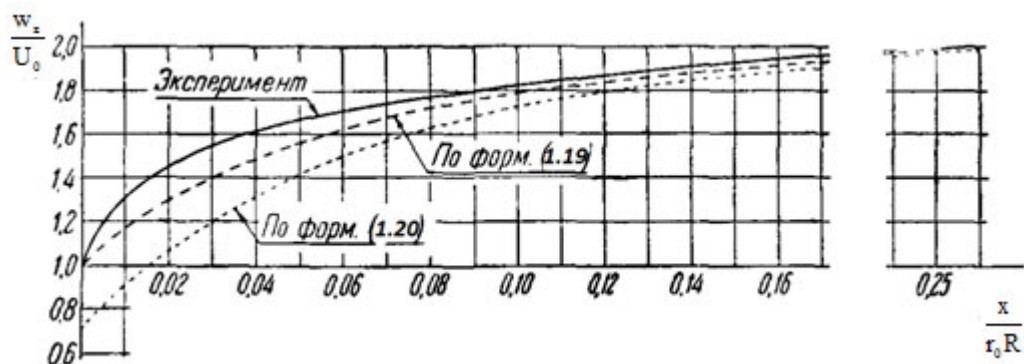


Рисунок 1.2 – Изменение осевой скорости на начальном участке [12]

#### 1.4 Теплообмен в термическом начальном участке

Примем следующие допущения к математическому моделированию:

- ширина трубы  $h$  существенно больше толщины теплового пограничного слоя  $\Delta$ ;
- течение жидкости и процесс теплообмена стационарны;
- плотность жидкости сохраняется при изменении давления;
- температура углеводородной среды на входе постоянна и равна  $T_0$ ;
- температура поверхности стенки трубы магистрального трубопровода постоянна и равна  $T_w$ ;
- отсутствуют внутренние источники тепла.

Уравнение энергии для сформулированной задачи легко получить из

$$w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{w_\varphi}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) \quad (1.21)$$

При

$$w_r = w_\varphi = 0 \text{ и } \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} = 0$$

$$y = r_0 - r$$

Получим:

$$w_x \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{1}{r_0 - y} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left[ (r_0 - y) \frac{\partial T}{\partial y} \right] \quad (1.22)$$

Так как  $\Delta \ll r_0$ , то в пределах теплового пограничного слоя величиной  $\Delta$  в уравнении энергии можно пренебречь по сравнению с  $r_0$ . Тогда это уравнение примет вид:

$$w_x \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (1.23)$$

Распределение скорости в круглой трубе описывается уравнением

$$w_x = 2\bar{w} \left( 1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right) = 8\bar{w} \left( \frac{y}{d} - \frac{y^2}{d^2} \right) \quad (1.24)$$

Где  $d=2r_0$  – диаметр трубы.

При значениях  $y \ll r_0$  в выражениях для  $w_x$  можно пренебречь квадратичными членами по сравнению с линейными, т.е. считать, что распределение скорости в тепловом пограничном слое следует закону прямой, касательной на стенке к параболе Пуазейля. Тогда в уравнении энергии можно положить

$$w_x = Ay \quad (1.25)$$

Где  $A = (dw_x / dy)_{y=0}$  – градиент скорости на стенке, которая равна  $A = 8\bar{w} / d$ .

В результате уравнение энергии примет вид:

$$Ay \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (1.26)$$

Допущение того, ширина трубы  $h$  существенно больше толщины теплового пограничного слоя  $\Delta$  позволяет выразить граничные условия в удобном для интегрирования виде:

$$\left. \begin{array}{l} \text{При } x \geq 0 \text{ и } y = \infty, T = T_0; \\ \text{При } x \geq 0 \text{ и } y = 0, T = T_c; \end{array} \right\} \quad (1.27)$$

Где  $T_0$  – температура жидкости на входе в участок,  $T_c$  – температура стенки.



Введем

$$\eta = \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} y \quad (1.28)$$

Найдем выражения для производных:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial y} &= \frac{\partial T}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial y} = \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} \frac{\partial T}{\partial \eta} \\ \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} &= \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right) \frac{\partial \eta}{\partial y} = \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= \frac{\partial T}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{3} \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} \frac{y}{x} \frac{\partial T}{\partial \eta} \end{aligned}$$

Подставляя два последних выражения для производных в (1.22), убеждаемся, что это уравнение сводится к обыкновенному дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} + 3\eta^2 \frac{\partial T}{\partial \eta} = 0 \quad (1.29)$$

Граничные условия принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} \text{При } \eta = \infty, \quad T &= T_0; \\ \text{При } \eta = 0, \quad T &= T_c. \end{aligned} \right\} \quad (1.30)$$

Интегрируя (1.29), получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \eta} &= c_1 e^{-\eta^3} \\ T &= c_1 \int_0^{\eta} e^{-\eta^3} d\eta + c_2 \end{aligned}$$

Постоянные интегрирования определяются из граничных условий

$$\left. \begin{aligned} c_2 &= T_c \\ c_1 &= \frac{T_0 - T_c}{\int_0^{\infty} e^{-\eta^3} d\eta} \end{aligned} \right\}$$

Получим уравнения для распределения температуры:

$$\frac{T - T_c}{T_0 - T_c} = \frac{\int_0^\eta e^{-\eta^3} d\eta}{\int_0^\infty e^{-\eta^3} d\eta} \quad (1.31)$$

где

$$\int_0^\infty e^{-\eta^3} d\eta = \Gamma\left(\frac{4}{3}\right) = 0,8930$$

График функции (1.31) зависимости безразмерной температуры от  $\eta$  представлено на рис. 1.2.

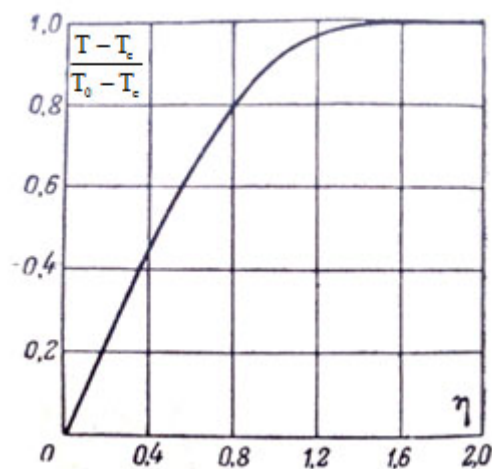


Рисунок 1.2 – Зависимости безразмерной температуры от  $\eta$  [9]

Выразим местный коэффициент теплоотдачи. Такой способ определения  $\alpha$  в данном случае удобен, так как при малых значениях  $\frac{1}{Pe} \cdot \frac{x}{d}$  средняя массовая температура жидкости слабо изменяется по длине.

$$\alpha_0 = \frac{q_c}{T_c - T_0} = -\frac{\lambda}{T_c - T_0} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}$$

Воспользовавшись полученными ранее соотношениями, находим:

$$\left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0} = \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} \left( \frac{\partial T}{\partial \eta} \right)_{\eta=0} = \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} \frac{T_0 - T_c}{0.893}$$

Следовательно,

$$\alpha_0 = \frac{\lambda}{0.893} \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} \quad (1.32)$$

Средний коэффициент теплоотдачи

$$\bar{\alpha}_0 = \frac{1}{l} \int_0^l \alpha_0 dx = \frac{3}{2} \cdot \frac{\lambda}{0.893} \left( \frac{A}{9ax} \right)^{1/3} \quad (1.33)$$

Подставив в (1.28) и (1.29) значение  $A = \frac{8\bar{w}}{d}$ , выразим уравнения для

местного и среднего критериев Нуссельта в начальном участке круглой трубы:

$$Nu_0 = \frac{\alpha_0 d}{\lambda} = 1.077 \left( \text{Pe} \frac{d}{x} \right)^{1/3} \quad (1.34)$$

$$\bar{Nu}_0 = \frac{\bar{\alpha}_0 d}{\lambda} = 1.615 \left( \text{Pe} \frac{d}{l} \right)^{1/3} \quad (1.35)$$

## 1.5 Основы тепловых расчетов нефтепроводов

При перекачке по трубопроводам, проложенным в мерзлых грунтах, нефтей и нефтепродуктов их температура вследствие теплообмена понижается. При понижении температуры углеводородной среды увеличивается вязкость и сопротивление на трение [15-19].

При осуществлении теплового расчета необходимо иметь данные о теплофизических свойствах нефти и изоляции. К ним относятся: плотность, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, вязкость. Необходимы климатологические данные о регионе прокладки нефтепровода, значении температур воздуха и грунта на глубине укладки трубопровода, солнечной радиации, толщине снежного покрова. Физические и теплофизические характеристики, как правило, определяются по справочным таблицам для нефтей разных месторождений.

При ориентировочных расчетах используются полуэмпирические и эмпирические уравнения для определения теплофизических характеристик.

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Теплоемкость нефти

$$c_p = \Delta^{-0,5} (1,687 + 3,39 \cdot 10^3 T) \quad (1.36)$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость, кДж/(кг · К);  $\Delta$  – относительная плотность нефти по воде при  $T = 15$  °С.

Удельная теплоемкость нефтей различных месторождений изменяется в интервале  $1,6 \div 2,5$  кДж/(кг · К).

Коэффициент теплопроводности нефти  $\lambda$  определяется по формуле

$$\lambda = (0,137 / \Delta) \cdot (1 - 0,54 \cdot 10^{-3} T) \quad (1.37)$$

и изменяется от 0,1 до 0,16 Вт/(м · К).

Коэффициент температуропроводности находят лишь для переходных режимов – процессов нагревания и охлаждения – и определяют как  $a = \lambda / c_p$  [62].

Наиболее распространенным для расчета изменения температуры нефти по длине трубопровода является уравнение В.Г. Шухова [18]

$$T = T_{гр} + (T_1 - T_{гр}) e^{\frac{k\pi D_x}{Mc_p}} \quad (1.38)$$

где  $T$  – температура нефти в рассматриваемом сечении, °С;  $T_{гр}$  – температура грунта на глубине укладки нефтепровода,  $T_1$  – температура нефти на входе в участок, °С;  $D$  – диаметр нефтепровода, м;  $x$  – расстояние до рассматриваемого сечения от входа в участок, м;  $M$  – массовый расход нефти по трубопроводу, кг/с;  $c_p$  – средняя теплоемкость нефти, Дж/(кг·К);  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м · К).

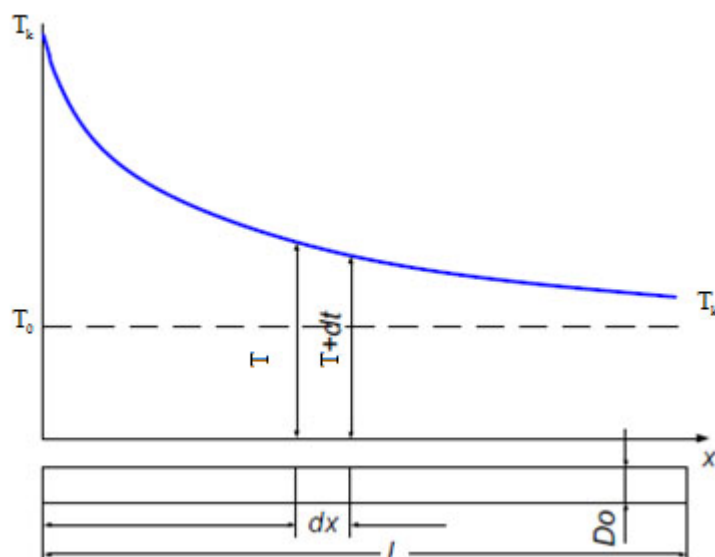


Рис. 1.3 – График падения температуры по длине трубопровода [18]

Рассмотрим участок нефтепровода, проложенного в изотропном грунте с постоянной температурой (рис. 1.3), и выделим на расстоянии  $x$  от начала трубопровода элементарный участок  $dx$ . Составим уравнение теплового баланса выделенного элементарного объема:

$$\delta Q_1 + \delta Q_2 = \delta Q,$$

где  $\delta Q_1$  – количество теплоты, подведенной к выделенному элементарному объему по трубопроводу;  $\delta Q_2$  – количество теплоты, подведенной к данному объему за счет теплоты трения;  $\delta Q$  – количество теплоты, отведенной от объема.

$$\delta Q_1 = Mc_p dT, \quad (a)$$

где  $M$  – массовый расход нефти, кг/с;  $c_p$  – удельная теплоемкость нефти, Дж/(кг · К);

$$\delta Q = kH(T - T_0) = k\pi D(T - T_0)dx; \quad (б)$$

$$\delta Q_2 = -Vdp = -V\lambda_{гр} \frac{\rho w^2}{2D} dx. \quad (в)$$

Тогда, сопоставив уравнения (а), (б) и (в), получим:

$$k\pi D(T - T_0) = Mc_p dT + V\lambda_{гр} \frac{\rho w^2}{2D} dx.$$

Разделив переменные, можно записать:

$$-Mc_p dT = \left[ k\pi D(T - T_0) - M\lambda_{гр} \frac{\rho w^2}{2D} \right] dx. \quad (г)$$

После преобразования получим:

$$-\frac{Mc_p}{k\pi D} dt = \left[ (t - t_0) - \frac{M\lambda_{гр} w^2}{k\pi D \cdot 2D} \right] dx; \quad (д)$$

$$\frac{dT}{(T - T_0) - \frac{M\lambda_{гр} w^2}{k\pi D \cdot 2D}} = -\frac{k\pi D}{Mc_p} dx. \quad (е)$$

Интегрируя, запишем

$$\ln \left[ (T - T_0) - \frac{M\lambda_{гр} w^2}{k\pi D \cdot 2D} \right] = -\frac{k\pi D}{Mc_p} x + c_1. \quad (ж)$$

Используем граничные условия для определения постоянной интегрирования  $c_1$ . При  $x = 0$ ,  $w = 0$ ,  $T = T_1$

$$c_1 = \ln(T_1 - T_0)$$

Окончательно запишем уравнение изменения температуры по длине трубопровода:

$$T = T_{гр} + (T_1 - T_{гр})e^{-x} + b(1 - e^{-x}). \quad (1.39)$$

Полученное уравнение (1.39) аналогично уравнению, в котором определяется температура нефти с учетом гидравлического уклона, так как физический смысл гидравлического уклона представляет собой величину работы на преодоление сил трения – теплоту внутреннего теплообмена, где

$$a = \frac{k\pi D x}{Mc_p}; \quad b = \frac{V\Delta p}{k\pi D L} = \frac{M\lambda_{гр} w^2}{k\pi \cdot 2D^2}.$$

Изменение температуры для высокопарафинистых нефтей можно рассчитать по формуле

$$\ln \frac{T_1 - T_0}{T_k - T_0} = \frac{k\pi D(L-l)}{M \left( \varepsilon + \frac{q\chi}{T_1 - T_2} \right)}, \quad (1.40)$$

где  $L$  – расстояние между станциями;  $l$  – расстояние, на котором температура нефти изменяется от  $T_{к.л.}$  до  $t_1$  по (1.39);  $T_k$  – температура нефти в конце перегона;  $\varepsilon$  – доля парафина, выделившегося из нефти при снижении температуры от  $T_1$  до  $T_2$ ;  $T_2$  – температура (любая), для которой известна величина  $\varepsilon$ .

В этом случае температура в конце участка оказывается значительно выше, чем по (1.39).

Наиболее сложно в этом случае определить численное значение коэффициента теплопередачи. Его находят из общего уравнения теплопередачи для трубы.

$$\frac{1}{kd_1} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}. \quad (1.41)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи соответственно от нефти к стенке и от наружного диаметра в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя изоляции;  $d_1, d_2$  – соответственно внутренний и наружный диаметр трубопровода, м.

Величина коэффициента теплопередачи в принципе можно отнести к любой поверхности. Для нефтепровода, как правило, его относят к внутреннему диаметру. Для труб больших диаметров, когда  $D / \delta \geq 10$ , можно использовать уравнение плоской стенки

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1.42)$$

Для подземных трубопроводов при турбулентном течении нефти внутренний коэффициент теплоотдачи изменяется в пределах 80-400 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Он намного больше наружного коэффициента теплоотдачи, равного 1,4÷6 Вт/(м<sup>2</sup> · К), и в этом случае им можно пренебречь. Значение

коэффициента теплоотдачи при подземной прокладке от внешней поверхности в окружающую среду определяется по формуле

$$\alpha_2 = \frac{2\lambda_{\text{гр}}}{D_{\text{н}} \ln \left[ \frac{2h_0}{D_{\text{н}}} + \sqrt{\left( \frac{2h_0}{D_{\text{н}}} \right)^2 - 1} \right]}, \quad (1.43)$$

где  $h_0$  – глубина заложения оси трубопровода, м;  $\lambda_{\text{гр}}$  – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м · К).

При больших заглублениях  $(2h_0 / D_{\text{н}}) \geq 2$

$$\alpha_2 = \frac{2\lambda_{\text{гр}}}{D_{\text{н}}} \ln \frac{4h_0}{D_{\text{н}}}. \quad (1.44)$$

При  $(h_0 / D_{\text{н}}) < 3$  необходимо учитывать термическое сопротивление грунт-воздух и снегового покрова. Тогда

$$h'_0 = h_0 + \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\alpha_{\text{в}}} + \delta_{\text{сн}} \left( \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\lambda_{\text{сн}}} \right), \quad (1.45)$$

где  $\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплопередачи от грунта в воздух, равный 10÷15 Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $\delta_{\text{сн}}$  – толщина снежного покрова, м;  $\lambda_{\text{сн}}$  – коэффициент теплопроводности снега,  $\lambda_{\text{сн}} \sim 0,4$  Вт/(м · К).

При больших значениях  $\alpha_1$  и малом термическом сопротивлении стенки (неизолированный нефтепровод) можно использовать зависимость

$$k = \frac{\lambda_{\text{гр}} \cdot 10^3}{d_{\text{н}}} \left[ 0,8 + \left( \frac{d_{\text{н}}}{h_{\text{пр}}} - 10^3 \right)^{0.2} \right], \quad (1.46)$$

где  $h_{\text{пр}}$  – приведенная глубина заложения с учетом термического сопротивления грунт-воздух и снегового покрова,

$$h_{\text{пр}} = h_0 + \lambda_{\text{гр}} \left( \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{сн}}}{\lambda_{\text{сн}}} \right). \quad (1.47)$$

Коэффициент теплоотдачи от поверхности грунта в воздух

$$\alpha_{\text{в}} = 5,3 + 3,6v_{\text{в}}, \quad (1.48)$$



где  $v_v$  – среднесезонная скорость ветра, м/с.

Численное значение климатологических характеристик для различных районов следует принимать по СНиП. Для определения коэффициента теплопередачи в этом случае используют значение коэффициента теплопроводности грунта из [18], а также номограммы для разных типов грунтов. В некоторых случаях можно воспользоваться номограммами для определения коэффициента теплопередачи [18].

Введя среднеарифметическое значение теплопроводности, можно получить наиболее точный результат для коэффициента теплопроводности грунта [18].

$$\lambda_{гр}^{cp} = 0,5(\lambda_{гр} + \lambda_{г.е.}), \quad (1.49)$$

где  $\lambda_{гр}^{cp}$  – коэффициент теплопроводности грунта при средней температуре стенки трубы (среднеинтегральное значение на входе и выходе из участка);  $\lambda_{гр}$  – коэффициент теплопроводности грунта в естественном состоянии.

Сложность расчета "горячих" трубопроводов заключается в том, что на участке грунты разные, неоднородные, с различными значениями  $\lambda_{гр}$ . Обычно используют среднее значение  $\lambda_{гр}$  с учетом длины и теплофизических характеристик грунта на каждом участке трассы:

$$\lambda_L = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n \lambda_i l_i, \quad (1.50)$$

где  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности грунта на длине участка  $l_i$ ;

$L = \sum l_i$  – полная длина участка.

Коэффициент теплоотдачи от нефти (ньютоновской жидкости) к стенке определяется в зависимости от режима движения.

При ламинарном режиме

$$Nu = 1.15 Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \left( \frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}. \quad (1.51)$$

где  $Nu = \frac{\alpha_1 d_1}{\lambda}$  – критерий Нуссельта;  $Pr = \nu / a$  – критерий Прандтля;

$Gr = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\nu^2}$  – критерий Грасгофа;  $Re = \frac{w d_1}{\nu}$  – критерий Рейнольдса.

Эти критерии определяются при средней температуре нефти [9].

При турбулентном режиме движения

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} (Pr_{ж} / Pr_{ст})^{0,25}. \quad (1.52)$$

Это уравнение используется, когда  $Re \geq 10^4$ .

В переходной области определяется только возможное (вероятное) значение коэффициента теплоотдачи по уравнению:

$$Nu = m_0 Pr^{0,43} (Pr_{ж} / Pr_{ст})^{0,25}. \quad (1.53)$$

Значение  $m_0$  выбирают в зависимости от критерия  $Re$ .

Таблица 1.1 – Значения  $m_0$  в зависимости от критерия Рейнольдса

$Re \cdot 10^3$	2,2	2,3	2,5	3,0	3,5	4	5	6	7	8	9	10
$m_0$	2,2	3,6	4,9	7,5	10	12,2	16,5	20	24	27	30	33

Значение коэффициента теплоотдачи от нефти к стенке в остановленном трубопроводе определяется по эмпирической зависимости

$$Nu = c (Pr \cdot Gr)^n, \quad (1.54)$$

где коэффициенты  $c$  и  $n$  принимаются из табл. 1.2.

При надземной прокладке коэффициент теплоотдачи определяют по уравнению

$$Nu = 0,25 Re^{0,6} \cdot Pr^{0,38} (Pr_{ж} / Pr_{ст})^{0,25}. \quad (1.55)$$

Таблица 1.2 – Значения коэффициентов  $c$  и  $n$

$Gr \cdot Pr$	$c$	$n$
$10^{-3} - 5 \cdot 10^2$	1,18	0,13
$5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$	0,54	0,25
$10^{12}$	0,14	0,33

Так как критерий Прандтля для воздуха изменяется с температурой незначительно и это соотношение равно 1, то

$$Nu = 0,25 Re^{0,6} \cdot Pr^{0,38} \quad (1.56)$$

Для расчета тепловых потерь значение коэффициента теплоотдачи при различной скорости ветра и диаметре трубопровода можно взять из табл. 1.3.

Для трубопроводов, защищенных от ветра, коэффициент теплоотдачи определяется по уравнениям свободной конвекции

$$Nu = m (Gr \cdot Pr)^n \quad (1.57)$$

Если  $Gr \cdot Pr > 10^5$ , что наиболее характерно для трубопроводов, то  $m = 0,53$ , а  $n = 0,25$ .

Для подводных трубопроводов коэффициент теплоотдачи определяется по уравнениям свободной конвекции или при ламинарном режиме, как для подземной прокладки, согласно уравнениям (1.55) и (1.56)

**Неизотермическое движение нефти.** Уравнения изменения температуры по длине трубопровода используются при постоянных теплофизических характеристиках нефти и грунта

Таблица 1.3 – Значения  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) для трубопроводов при различной скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Наружный диаметр, м						
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,5
5	16,41	14,61	22,15	28,24	33,15	13,50	20,43
10	24,76	26,04	30,91	12,52	19,02	24,18	28,76
15	31,60	11,13	16,93	21,51	25,63	10,21	15,48
20	37,46	19,72	23,43	8,66	12,00	16,70	19,89

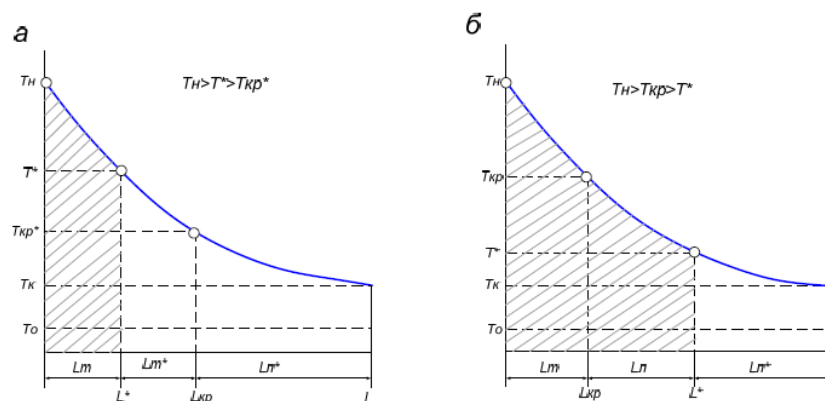


Рис. 1.4 – Расчетные участки трубопровода с различными режимами течения:  
 а – переход в ламинарный режим в области вязкопластичного течения; б – то же в области вязкого течения [21]

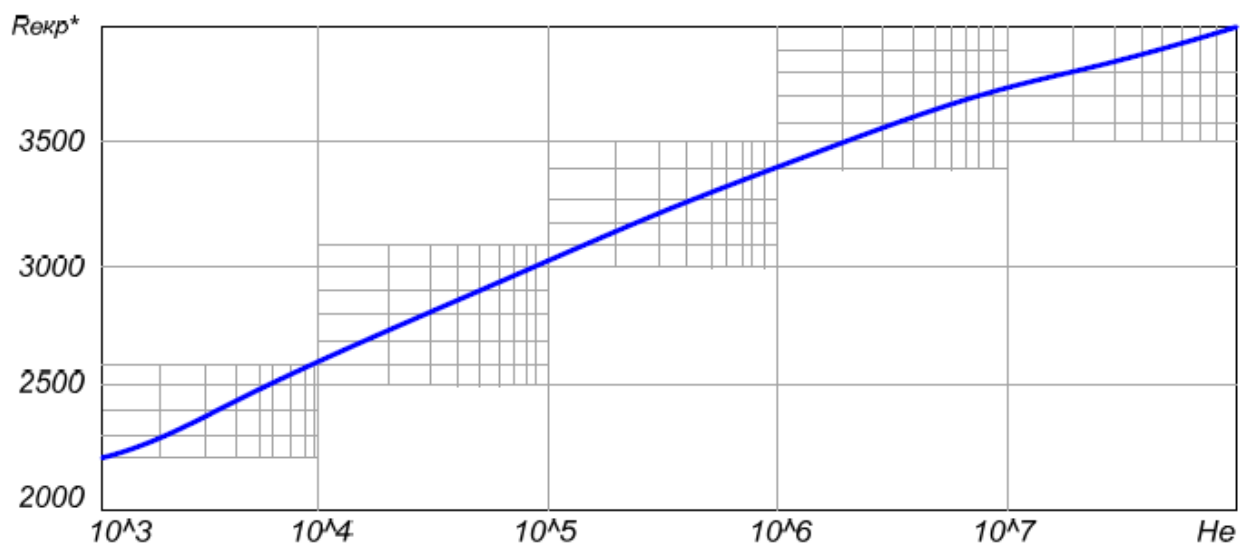


Рис. 1.5 – Зависимость критического числа Рейнольдса от параметра Хедстрема [21]

Это уравнение позволяет рассчитать длину участка, на котором движется вязкая жидкость при турбулентном режиме:

$$L_m = \int_{t_n}^{t^*} \frac{Mc_p}{k\pi D} \frac{dT}{T - T_0} = \frac{Mc_p}{k\pi D} \ln \frac{T_n - T_{гр}}{T^* - T_{гр}}. \quad (1.58)$$

Аналогично определяют длину участка, на котором движется вязкопластичная жидкость при турбулентном режиме:

$$L_m^* = L_{кр}^* - L^* = \frac{Mc_p}{k\pi D} \ln \frac{T^* - T_{гр}}{T_{кр}^* - T_{гр}}. \quad (1.59)$$

Значение критической температуры  $t_{кр}^*$  находят по критерию Хедстрема, который рассчитывают в интервале температур  $T_n - T_{кр}$ :

$$He = \tau_0 D^2 \rho / \eta^2. \quad (1.60)$$

Используя зависимость  $He = f(Re)$  (рис. 1.4), по графику определяют соответствующие критические значения обобщенного критерия Рейнольдса  $Re_{кр}^*$  и получают зависимость  $Re_{кр}^*$  от температуры. После этого строят график зависимости  $Re_{кр}^* = Re/f(He)$  от температуры. Точка пересечения кривых позволяет определить  $T_{кр}^*$ . Можно воспользоваться приближенным эмпирическим уравнением

$$Re_{кр}^* = 3000gHe + 1200. \quad (1.61)$$

Для участка с ламинарным режимом вязкопластичной нефти

$$L_{л}^* = L - L_m - L_m^* = \frac{Mc_p}{k\pi D} \ln \frac{T_{кр} - T_{гр}}{T_k - T_{гр}}. \quad (1.62)$$

Если течение нефти в трубопроводе идет по схеме, показанной на рисунке 1.3, б, то

$$L_m = \frac{Mc_p}{k\pi D} \ln \frac{T_n - T_{гр}}{T_{кр} - T_{гр}}; \quad (1.63)$$

$$L_{л} = L^* - L_m = \frac{Mc_p}{k\pi D} \ln \frac{T_{кр} - T_{гр}}{T - T_{гр}}. \quad (1.64)$$

$$L_{л}^* = L^* - L_m - L_{л} = \frac{Mc_p}{k\pi D} \ln \frac{T^* - T_{гр}}{T_k - T_{гр}}. \quad (1.65)$$

Критическую температуру  $T_{кр}$  вязкой жидкости можно определить из выражения

$$v_2 = v_1 \cdot e^{-u(t_2 - t_1)}, \quad (1.66)$$

если  $T_2 = T_{кр}$ , а  $v_{кр} = wD\rho Re_{кр}$ .

Здесь  $t_1$  – температура, при которой известна вязкость  $v_1$ .

Коэффициент теплопередачи

$$k = \left[ \frac{1}{\alpha_1} + \frac{D_b}{D_n} \frac{1}{\alpha_2} + D_b \sum_{i=1}^n \frac{\ln(D_{ni} / D_{bi})}{2\lambda_i} \right]^{-1}. \quad (1.67)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от нефти к стенке трубы;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от стенки трубы в окружающую среду;  $D_{ni}$ ,  $D_{bi}$  – внутренний и наружный диаметры;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности соответствующего слоя трубы, изоляции и т.д.

При вязкопластичном режиме коэффициент теплоотдачи определяется по уравнениям (1.51-1.52), причем значения критериев  $Re$ ,  $Pr$ ,  $Gr$  находят по модифицированным выражением для вязкопластичной жидкости:

$$Re^* = \frac{Re}{F(He)} = \frac{uD}{\eta} \frac{1}{F(He)}; Pr^* = Pr F(He); Gr^* = \frac{Gr}{[F(He)]^2}. \quad (1.68)$$

Изменение температуры по длине трубопровода предопределяет изменение экономической эффективности трубопроводного транспорта.

Выбор начальной температуры нефти может быть сделан на основании технико-экономического сопоставления различных вариантов по величине максимальной прибыли

$$\Pi_p - Z_n \rightarrow \max. \quad (1.69)$$

где  $\Pi_p$  – прибыль от реализации перекачанного объема нефти;  $Z_n$  – затраты на подогрев.

Это связано с тем, что с повышением температуры нефти уменьшается вязкость и изменяется гидравлическая мощность, но одновременно возрастают затраты на теплообменные аппараты и расходы на тепловую энергию. Как правило, при расчетах задаются значениями температур в зависимости от постановки задачи и определяют расстояние между станциями.

Для «горячих» нефтепроводов наиболее сложен пуск в работу, когда грунт имеет естественную температуру. В некоторых случаях предварительно грунт прогревают, заполняя трубопровод горячей водой. Пуск без предварительного прогрева возможен в том случае, когда начальная температура нефти будет такой, при которой гидравлические сопротивления участка окажутся меньше напора, развиваемого насосными станциями.

Время безопасной остановки нефтепровода при его непрерывной работе более четырех месяцев определяется по формуле

$$\theta = \frac{T - T_0}{T_{ст} - T_0} = 1 - \frac{Ei\left(-\frac{H^2}{R^2 Fo}\right) - Ei\left(-\frac{1}{4Fo}\right)}{2 \ln \frac{2H}{R}}, \quad (1.70)$$

где  $\theta$  – относительная температура;  $E$  – текущее значение температуры трубопровода (выбирается таким, при котором работа возобновляется без

осложнений);  $T_{\text{ст}}$  – температура стенки в момент остановки перекачки;  $H$  – глубина заложения нефтепровода;  $R$  – наружный радиус трубопровода;  $Fo = \frac{a\tau}{R^2}$  – критерий Фурье (здесь  $a$  – температуропроводность грунта);  $Ei$  – интегральная показательная функция.

Для большинства магистральных нефтепроводов с глубиной заложения  $1,2 \div 2$  м и диаметром  $200 \div 1000$  мм отношение  $\frac{H}{R} > 3$ , в связи с чем величиной  $Ei\left(-\frac{H^2}{R^2 Fo}\right)$  можно пренебречь.

Тогда, преобразовав уравнение (1.71), получим:

$$-Ei\left(-\frac{1}{4Fo}\right) = 2(1 - \theta) \ln \frac{2H}{R} = \chi. \quad (1.71)$$

Представим это уравнение в виде графика (рис. 1.5).

По известным значениям  $H$  и  $R$  трубопровода, задаваясь значением температуры в конце остановки, вычисляем комплекс  $\chi$  и отсчитываем его значение на оси ординат (точка  $A$ ). Проводим линию до пересечения с кривой на оси абсцисс и получаем значение критерия  $Fo$  (точка  $B$ ). Затем по известным значениям  $a$  грунта и  $R$  определяем время безопасной работы.

Уравнение (1.72) можно представить в виде

$$\tau = 0,111 \frac{D_{\text{н}}^2}{a} \left( \frac{4H}{D_{\text{н}}} \right)^{2(1-\theta)}. \quad (1.72)$$

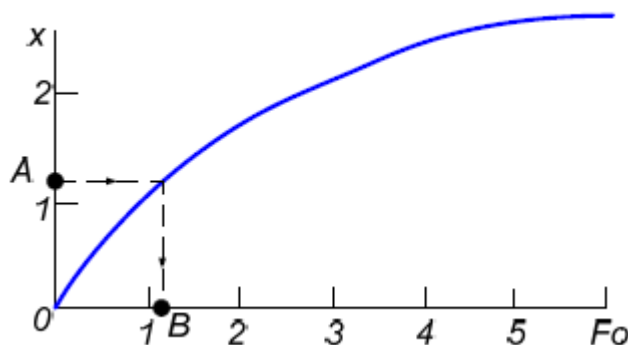


Рисунок 1.6 – Зависимость параметра  $\chi$  от критерия  $Fo$  [21]



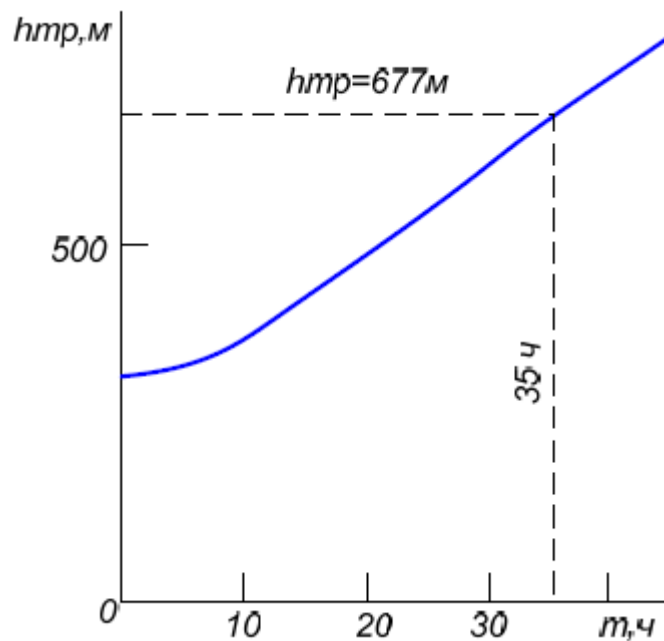


Рисунок 1.7 – Изменение потерь на трение в зависимости от продолжительности охлаждения [21]

Это уравнение является приближенным с максимальной погрешностью  $\pm 17 \%$ . Для высоковязких нефтей и нефтепродуктов время безопасной остановки необходимо определять с учетом возможностей насосного оборудования, так как при остановке продукт охлаждается на всем участке. Напор, развиваемый насосными агрегатами перекачивающей станции, должен быть равен гидравлическим сопротивлениям участка или больше их, но не больше максимальной величины, обусловленной прочностью материала трубы:

$$h_{\text{mp max}} = \frac{2\sigma_p \delta}{D\rho}, \quad (1.73)$$

где  $h_{\text{mp max}}$  – максимальный напор для трубы;  $\sigma_p$  – расчетный предел прочности металла труб;  $\delta$  – толщина стенки трубы;  $\rho$  – плотность нефтепродукта.

Для любого нефтепровода можно заранее построить график изменения потерь на трение  $h_{\text{тр}}$  в зависимости от продолжительности охлаждения (рис. 1.6).

Принимая значение внутреннего коэффициента теплопередачи  $\alpha$  постоянным, изменение температуры при остывании горячих нефти определяется по уравнению [62]

$$T - T_0 = (T_r - T_0) \left( 1 + \frac{M_0 \tau}{\Phi} \right)^{-N}, \quad (1.74)$$

$$\text{где } \Phi = 1 + \frac{\alpha_2 D_n}{\alpha_1 D} + \frac{\alpha_2 D_n}{D \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}; N = \frac{4\alpha_2 D_n}{D^2 c_p M_0}; M_0 = \frac{16a}{D_n^2}.$$

Здесь  $\delta_i$ ,  $\lambda_i$  – толщина и коэффициент теплопроводности металла, изоляции, покрытия и т.п.

При кратковременных остановках грунт не успевает остыть, поэтому пуск нефтепровода в работу осуществляется значительно проще, чем первоначальный. Температура закачиваемой жидкости изменяется медленнее, чем при заполнении пустой трубы. Закон изменения температуры при возобновлении перекачки описывается тем же уравнением, что и при пуске с введением скорректированного значения  $E = E_1$ .

$$T - T_{\text{гр}} = (T_n - T_{\text{гр}}) e^{-\text{III}x} \left( \frac{1 - E^{-\text{III}_1 x}}{1 - E} \right)^n, \quad (1.75)$$

где  $T$  – конечная температура продукта на расстоянии  $x$ ;  $T_{\text{гр}}$  – температура грунта;  $T_n$  – начальная температура продукта;

$$\text{III} = \frac{k\pi D}{Mc_p}; \text{III}_1 = \frac{4a}{5wD_n^2}; n = \frac{5kD}{\text{арс}_p};$$

$x$  – расстояние от начала участка;  $w$  – скорость продукта;

$$E = \frac{kD}{\alpha_2 D_n} e^{\frac{-4a\tau}{5D_n^2}}. \quad (1.76)$$

При остановке трубопровода с вязким продуктом, когда он охлаждается по времени больше времени безопасной остановки напора, не хватает агрегатов для его выталкивания. В этом случае выталкивание нефтепродукта производится маловязкими продуктами по участкам. По трассе трубопровода через каждые 5-15 км сооружают линейные колодцы с устройством земляных амбаров и в них выталкивают застывший продукт. Для ускорения освобождения трубопровода насосы работают на максимальных давлениях.

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

## 2 Объект и данные исследования

Рассмотрим задачу о движении жидкости и теплообмене в термическом начальном участке круглой трубы при вязкостном режиме течения. При этом учитывается зависимость коэффициента вязкости от температуры.

Физическая модель сводится к формулировке и анализу:

- ширина трубы  $h$  существенно больше толщины теплового пограничного слоя  $\Delta$ ;
- течение жидкости и процесс теплообмена стационарны;
- плотность жидкости сохраняется при изменении давления;
- температура углеводородной среды на входе постоянна и равна  $T_0$ ;
- температура поверхности стенки трубы магистрального трубопровода постоянна и равна  $T_w$ ;
- отсутствуют внутренние источники тепла.

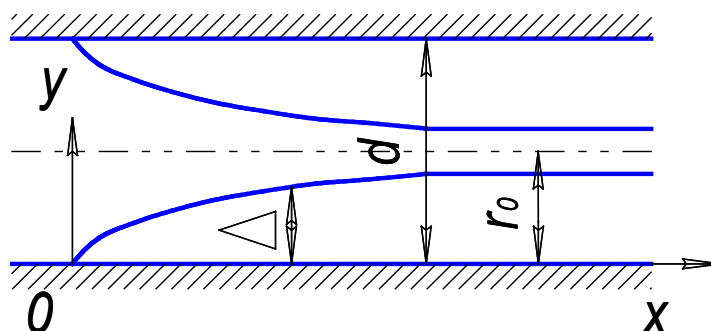


Рисунок 2.1 – Схема потока в трубе [9]

Принимаем:

- Профиль скорости во входном сечении трубы является вполне развитым (параболическим)
- Температура жидкости на входе распределена по сечению равномерно, а температура стенки постоянна по поверхности

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Маношкин Н.С.				Объект и данные исследования	Лит.	Лист
Руковод.	Харламов С.Н.						44
Консульт.							104
Рук-ль ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ гр. 2БМ72	

- Пренебрегаем переносом тепла вдоль оси вследствие теплопроводности по сравнению с переносом за счет конвекции

Для последующего упрощения уравнений принимаем толщину теплового пограничного слоя  $\Delta$  существенно меньше диаметра трубы  $d$ .

В работе проведены исследования течений в широком диапазоне изменений определенных параметров исследуемой нефти на геометрии трубопровода со следующими данными:

- число  $Re$  входит в диапазон от 50 до 1000
- длина участка от 10 до 1000 м.
- диаметр трубы от 20 до 800 мм.
- температура стенки от 5 до 15 °C
- начальная температура 40 °C
- динамическая вязкость от 0,0006 до 0,1029 Па\*с

					Объект и данные исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

### 3. Построение методики расчета

$$\begin{aligned} \rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{w_\phi}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \lambda \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \phi} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + q_v + \mu S, \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{где } S = & \left[ 2 \left( \frac{\partial w_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial w_r}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{w_r}{r} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial w_x}{\partial r} + \frac{\partial w_r}{\partial x} \right)^2 + \\ & + \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_x}{\partial \varphi} + \frac{\partial w_\varphi}{\partial \varphi} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} - \frac{w_\varphi}{r} \right)^2 ; \\ \rho \left( \frac{\partial w_x}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} + \frac{w_\varphi}{r} \cdot \frac{\partial w_x}{\partial \varphi} \right) = & \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\mu \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left[ \mu \left( \frac{\partial w_x}{\partial r} + \frac{\partial w_r}{\partial x} \right) \right] + \frac{1}{r} \mu \left( \frac{\partial w_x}{\partial r} + \frac{\partial w_r}{\partial x} \right) + \\ & + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[ \mu \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_x}{\partial \varphi} + \frac{\partial w_\varphi}{\partial x} \right) \right] ; \\ \rho \left( \frac{\partial w_r}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_r}{\partial x} + w_r \frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{w_\varphi}{r} \frac{\partial w_r}{\partial \varphi} - \frac{w_\varphi^2}{r} \right) = & \rho g_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial w_r}{\partial x} + \frac{\partial w_x}{\partial r} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left( 2\mu \frac{\partial w_r}{\partial r} \right) + \frac{2}{r} \mu \left( \frac{\partial w_r}{\partial r} - \frac{w_r}{r} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_\varphi}{\partial \varphi} \right) + \\ & + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ \mu \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} - \frac{w_\varphi}{r} \right) \right] ; \\ \rho \left( \frac{\partial w_\varphi}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_\varphi}{\partial x} + w_r \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + \frac{w_\varphi}{r} \cdot \frac{\partial w_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{w_r w_\varphi}{r} \right) = & \rho g_\varphi - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial w_\varphi}{\partial x} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_x}{\partial \varphi} - \frac{w_\varphi}{\partial \varphi} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[ \mu \left( \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} - \frac{w_\varphi}{r} \right) \right] + \\ & + \frac{2}{r} \mu \left( \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_r}{\partial \varphi} - \frac{w_\varphi}{r} \right) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ 2\mu \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{w_r}{r} \right) \right] ; \\ \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho w_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial (\rho w_\varphi)}{\partial \varphi} + \rho \frac{w_r}{r} = & 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.0)$$

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								
Разраб.	Маношкин Н.С.				Построение методики расчета			Лит.	Лист	Листов		
Руковод.	Харламов С.Н.									46	104	
Консульт.								НИ ТПУ гр. 25М72				
Рук-ль ООП	Шадрина А.В.											

Процесс теплообмена при течении вязкой несжимаемой жидкости, свойства которой произвольно зависят от температуры, можно описать следующей системой уравнений, записанной в цилиндрической системе координат, представленной выше (3.0):

В соответствии с принятыми допущениями в предыдущей главе, сформулированной задаче отвечает следующая упрощенная система уравнений:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_r \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{\mu}{\rho c_p} \left( \frac{\partial w_x}{\partial r} \right)^2 \quad (3.1)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \mu \frac{\partial w_x}{\partial r} \right) = \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \left( w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) - \frac{\partial \mu}{\partial r} \cdot \frac{\partial w_r}{\partial x} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r w_r) = 0 \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{\mu} = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots + a_m T^m \quad (3.4)$$

Где  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$  – постоянные, зависящие от рода жидкости и интервала температур.

Можно пренебречь изменением вязкости вдоль оси трубы, поэтому предпоследний член в уравнении (3.2) опускается.

Чтобы решить задачу, необходимо существенно упростить уравнения (3.1) и (3.2). Для этого вместо точных уравнений будем пользоваться приближенными уравнениями, у которых правые части осреднены соответственно по толщине теплового пограничного слоя и радиусу трубы. Так как  $\Delta \ll d$ , то такой приближенный способ учета конвективных членов не должен существенно повлиять на конечные результаты.

Таким образом, вместо (3.1) будем пользоваться уравнением:

$$a \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{\Delta} \int_0^\Delta \left( w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_r \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{\mu}{\rho c_p} \left( \frac{\partial w_x}{\partial r} \right)^2 \right) dr \quad (3.5)$$

Если бы движение было изотермическим, то в уравнении (3.2)  $w_r$  и  $\partial w_x / \partial x$  равнялись бы нулю, а  $\rho$  не зависело бы от  $y$ . При неизотермическом

течении, когда  $\mu$  является переменной величиной эти условия не выполняются. Однако можно утверждать, что в этом случае величины  $\omega_r$  и  $\partial w_x / \partial x$  будут малыми по сравнению с  $w_x$  и  $\partial w_x / \partial r$ . Поэтому можно ограничиться приближенным учетом членов, содержащих  $w_r$  и  $\partial w_x / \partial x$ , введя в (3.2) их значения, осредненные по диаметру трубы  $d=2r_0$ . Так же поступим и с величиной  $\partial \rho / \partial x$ . Т.о., вместо (3.2) используем уравнение:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \mu \frac{\partial w_x}{\partial r} \right) = \frac{1}{r_0} \int_0^{r_0} \left[ \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \left( \omega_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) - \frac{\partial \mu}{\partial r} \cdot \frac{\partial w_r}{\partial x} \right] dr \quad (3.6)$$

Такой способ приближенного учета инерционных членов в уравнении движения был предложен Н.А.Слезкиным [8], а в последствии использовался С.М.Таргом [21].

Вместо координаты  $r$  введем координату  $y=r_0-r$ , отсчитанную от стенки ( $r_0$  – радиус трубы), и  $w_r=-w_y$  и введем безразмерные величины для удобства:

$$\theta = \frac{T - T_c}{T_0 - T_c}, \quad W_x = \frac{w_x}{\bar{w}}, \quad W_y = \frac{w_y}{\bar{w}}, \quad Pe = \frac{\bar{w} 2 r_0}{a}$$

$$\pi = \frac{\bar{w} \mu_c}{\rho c_p (T_0 - T_c) r_0}, \quad X = \frac{x}{r_0}, \quad Y = \frac{y}{r_0}, \quad k = \frac{\Delta}{r_0}$$

Граничные условия будут:

$$\text{При } X \geq 0 \text{ и } Y = 0, \theta = 0, W_x = W_y = 0; \quad (3.7)$$

$$\text{При } X \geq 0 \text{ и } 1 \geq Y \geq k, \theta = 1, \frac{\partial \theta}{\partial Y} = 0; \quad (3.8)$$

$$\text{При } X \geq 0 \text{ и } Y = 1 \quad \frac{\partial W_x}{\partial Y} = 0; \quad (3.9)$$

$$\text{При } X \geq 0, Y = \Delta; T_w = T_{гр}; \quad (3.10)$$

$$\text{При } X \geq 0, Y = 0; T_w = T_f, q_w = q_f. \quad (3.11)$$

После приведения приближенных уравнений к безразмерному виду и некоторых преобразований получим систему уравнений:

$$\frac{1}{1-Y} \cdot \frac{\partial}{\partial Y} \left[ (1-Y) \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right] = B(X) \quad (3.12)$$



$$\frac{1}{1-Y} \cdot \frac{\partial}{\partial Y} \left[ (1-Y) \frac{\mu}{\mu_c} \cdot \frac{\partial W_x}{\partial Y} \right] = A(X) \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial W_x}{\partial X} + \frac{1}{1-Y} \cdot \frac{\partial}{\partial Y} [(1-Y) W_y] = 0 \quad (3.14)$$

$$(3.15)$$

где:

$$B(X) = \frac{Pe}{2k} \int_0^k \left[ \left( W_x \frac{\partial \theta}{\partial X} + W_y \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) + \pi \frac{\mu}{\mu_c} \left( \frac{\partial W_x}{\partial Y} \right)^2 \right] dY \quad (3.16)$$

$A(X)$  – некоторая функция от  $X$ , которая будет определена ниже.

Вычисляем распределение температуры и скорости. Интегрируя (3.12) по  $Y$  и принимая во внимание второе из граничных условий (3.8), получим:

$$\frac{\partial \theta}{\partial Y} = B(X) \left[ \frac{Y-k}{1-Y} - \frac{Y^2-k^2}{2(1-Y)} \right]$$

или

$$\frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{B(X)}{2} \left[ \frac{(1-k)^2}{1-Y} - (1-Y) \right] \quad (3.17)$$

Проинтегрировав (3.17) второй раз по  $Y$  и учитывая первое из граничных условий (3.7), получим:

$$\theta = \frac{B(X)}{2} \left[ -(1-k)^2 \ln(1-Y) - \left( Y - \frac{Y^2}{2} \right) \right]$$

Используя второе из граничных условий (3.8), находим выражение для  $B(X)$  и окончательное уравнение для  $\theta$ :

$$B(X) = - \frac{2}{(1-k)^2 \ln(1-k) + \left( k - \frac{k^2}{2} \right)} \quad (3.18)$$

$$\theta = \frac{(1-k)^2 \ln(1-Y) + \left( Y - \frac{Y^2}{2} \right)}{(1-k)^2 \ln(1-k) + \left( k - \frac{k^2}{2} \right)} \quad (3.19)$$

Поскольку толщина пограничного слоя предполагается малой по сравнению с радиусом трубы, при её вычислении, а также при вычислении изменения вязкости по толщине пограничного слоя в уравнении (3.12) можно пренебречь величиной  $Y$  по сравнению с единицей (т.е. кривизной поверхности трубы). В этом случае вместо (3.18) и (3.19) получим уравнения:

$$B(X) = -\frac{2}{k^2} \quad (3.20)$$

$$\theta = 2\frac{Y}{k} - \frac{Y^2}{k^2} \quad 0 \quad (3.21)$$

Подставив в значение  $\theta$  из (3.21) в (3.15), получим:

$$\frac{\mu_c}{\mu} = \sum_{i=0}^{n=2m} b_i \left( \frac{Y}{k} \right)^i \quad (3.22)$$

где  $b_i$  – новые постоянные, причем  $b_0=1$ .

Интегрируя (3.13) по  $Y$  при граничных условиях (3.9) получаем:

$$\frac{\partial W_x}{\partial Y} = \frac{1}{2} A(X) \frac{\mu_c}{\mu} (Y-1) \quad (3.23)$$

Проинтегрировав (3.23) при  $Y \leq k$  [в этом случае описывается  $\mu_c/\mu$  описывается уравнением (3.22) и  $Y \geq k$  (в этом случае  $\mu=\mu_0=const$ ), получим следующие уравнения для  $W_x$ :

При  $Y \leq k$

$$W_x = \frac{1}{2} A(X) \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{k_i} \left( \frac{Y^{i+2}}{i+2} - \frac{Y^{i+1}}{i+1} \right) \quad (3.24)$$

При  $Y=k$

$$W_{x_1=k} = \frac{1}{2} A(X) \sum_{i=0}^n b_i \left( \frac{k^2}{i+2} - \frac{k}{i+1} \right) \quad (3.25)$$

При  $Y \geq k$

$$W_x = \frac{1}{2} A(X) \left\{ \frac{\mu_c}{\mu_0} \left[ \frac{1}{2} (Y^2 - k^2) - (Y - k) \right] + \sum_{i=0}^n b_i \left( \frac{k^2}{i+2} - \frac{k}{i+1} \right) \right\} \quad (3.26)$$

Функция  $A(X)$  определяется из условия постоянства расхода:

					Построение методики расчета	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$\int_0^{r_0-\Delta} 2\pi r \omega_x dr + \int_{r_0-\Delta}^{r_0} 2\pi r \omega_x dr = \pi r_0^2 \bar{\omega}$$

Переходя от координаты  $r$  к координате  $y$ , после приведения этого уравнения к безразмерному виду получим:

$$\int_0^k W_x (1-Y) dY + \int_k^1 W_x (1-Y) dY = \frac{1}{2} \quad (3.27)$$

Используя при вычислении первого интеграла (3.24) и второго (3.26) и выполнив некоторые преобразования, получим:

$$A(X) = -\frac{2}{P_0 + P_1 k + P_2 k^2 + P_3 k^3 + P_4 k^4} = -\frac{2}{R} \quad (3.28)$$

где:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\mu_c}{\mu_0} \\ P_1 &= -\frac{\mu_c}{\mu_0} + \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+1} \\ P_2 &= \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_c}{\mu_0} - 3 \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+2} \\ P_3 &= -\frac{\mu_c}{\mu_0} + 3 \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+3} \\ P_4 &= \frac{1}{4} \cdot \frac{\mu_c}{\mu_0} - \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+4} \end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

$$R = P_0 + P_1 k + P_2 k^2 + P_3 k^3 + P_4 k^4 \quad (3.30)$$

Подставив  $A(X)$  из (3.28) в (3.24) и (3.26), получим окончательные уравнения для  $W_x$ :

При  $Y \leq k$

$$W_x = \frac{1}{R} \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{k^i} \left( \frac{Y^{i+1}}{i+1} - \frac{Y^{i+2}}{i+2} \right) \quad (3.31)$$

При  $Y \geq k$

$$W_x = \frac{1}{R} \left\{ \frac{\mu_c}{\mu_0} \left[ (Y-k) - \frac{1}{2} (Y^2 - k^2) \right] + \sum_{i=0}^n b_i \left( \frac{k}{i+1} - \frac{k^2}{i+2} \right) \right\} \quad (3.32)$$

Величина  $W_y$  определяется из уравнения неразрывности (3.14). Пренебрегая внутри теплового пограничного слоя величиной  $Y$  по сравнению с единицей, находим:

$$W_y = - \int_0^Y \frac{\partial W_x}{\partial X} dY$$

Подставив сюда  $W_x$  из (3.31) и выполнив интегрирование, находим  $W_y$ :

$$W_y = \frac{dk}{dX} \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{k^{i+1}} \cdot \frac{iR + T}{R^2} \left[ \frac{Y^{i+2}}{(i+1)(i+2)} - \frac{Y^{i+3}}{(i+2)(i+3)} \right] \quad (3.33)$$

Где обозначено

$$T = P_1 k + 2P_2 k^2 + 3P_3 k^3 + 4P_4 k^4$$

Найдем толщину теплового пограничного слоя и рассчитаем теплоотдачу и сопротивление трения. Зависимость  $k$  от  $X$  определяется из уравнения (3.16). Подставив в это уравнение  $B(X)$  из (3.18), получим:

$$-\frac{2}{k^2} = Pe \int_0^k \left[ \left( W_x \frac{\partial \theta}{\partial X} + W_y \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) + \pi \frac{\mu}{\mu_c} \left( \frac{\partial W_x}{\partial Y} \right)^2 \right] dY \quad (3.34)$$

Используя уравнения для  $W_x$ ,  $W_y$  и  $\theta$ , вычислим интегралы:

$$\int_0^k W_x \frac{\partial \theta}{\partial X} dY = \frac{2}{R} \cdot \frac{dk}{dX} \left[ k^2 \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{(i+2)(i+4)(i+5)} - k \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{(i+1)(i+3)(i+4)} \right]$$

$$\int_0^k W_y \frac{\partial \theta}{\partial Y} dY = \frac{2}{R^2} \cdot \frac{dk}{dX} \sum_{i=0}^n b_i (iR + T) \left[ \frac{k}{(i+1)(i+2)(i+3)(i+4)} - \frac{k^2}{(i+2)(i+3)(i+4)(i+5)} \right]$$

$$\int_0^k \pi \frac{\mu}{\mu_c} \left( \frac{\partial W_x}{\partial Y} \right)^2 dY = \pi \frac{1}{R^2} \left( k \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+1} - 2k^2 \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+2} + k^3 \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+3} \right)$$

Подставив значения интегралов в (3.34) и проинтегрировав его соответственно от 0 до  $k$  и от 0 до  $X$ , получим окончательно.

$$\int_0^k \frac{\left[ B_1 \left( 2 - \frac{T}{R} \right) - B_2 k \left( 3 - \frac{T}{R} \right) \right] \frac{k^2}{2R}}{1 + \frac{1}{2} \pi_1 \frac{k^2}{R^2} (D_1 - 2D_2 k + D_3 k^2)} dk = \frac{X}{Pe} \quad (3.35)$$

Где:

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{(i+1)(i+2)(i+3)(i+4)} \\ B_2 &= \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{(i+2)(i+3)(i+4)(i+5)} \end{aligned} \right\} \quad (3.36)$$

$$\pi_1 = \frac{1}{2} Pe \pi = \frac{\bar{\omega}^2 \mu_c}{\lambda(t_0 - t_c)} \quad (3.37)$$

$$D_1 = \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+1}; \quad D_2 = \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+2}; \quad D_3 = \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{i+3} \quad (3.38)$$

Через выражение (3.31) для  $W_x$  получаем уравнение для местного коэффициента сопротивления трения:

$$\xi = \frac{16}{Re_c} \cdot \frac{1}{R} \quad (3.39)$$

## 4 Результаты работы и их обсуждение

На рис. 4.1 представлены изменения толщины теплового пограничного слоя  $k$  от приведенной длины  $X^+ = X/Pe$ . Это позволяет получить представление об изменениях интегральных параметров течения и теплообмена ( $W_x$ ,  $W_y$ ,  $Nu$ ,  $\theta$ ), так как по длине формируются поля скорости и температуры потока.

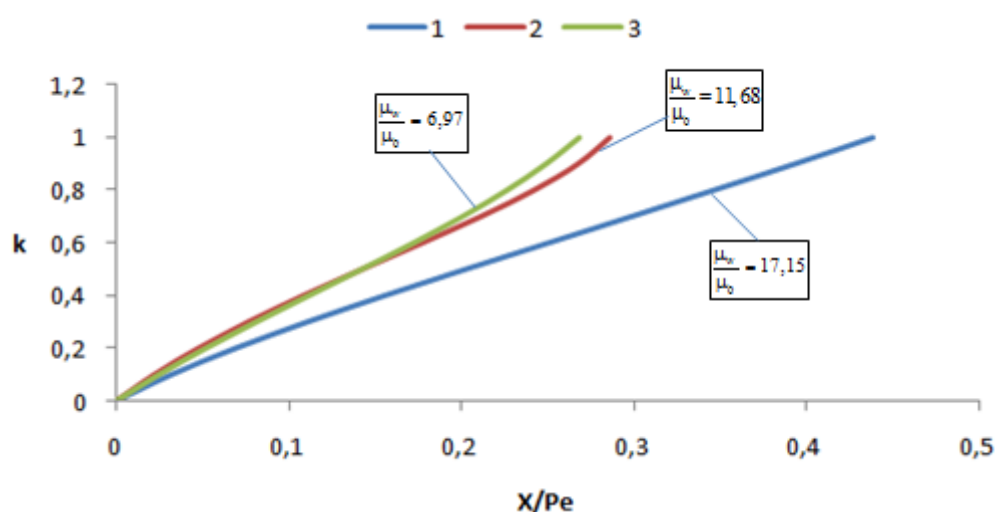


Рисунок 4.1 – Изменение безразмерной толщины теплового пограничного слоя  $k$  от  $X^+ = X/Pe$  при различных температурах стенки трубопровода.

1 –  $T_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_w = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2 –  $T_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_w = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

3 –  $T_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_w = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Из рисунка видно, что при данном напоре смыкание слоев происходит для нефти при  $T_w = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на длине  $X^+ = 0,044$ ; при  $T_w = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $X^+ = 0,029$ ; при  $T_w = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $X^+ = 0,027$ .

На рис. 4.2 представлены интегральные изменения теплообмена ( $Nu$ ).

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Маношкин Н.С.				Результаты работы и их обсуждение	Лит.	Лист
Руковод.	Харламов С.Н.						54
Консульт.							104
Рук-ль ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ зр. 2БМ72	

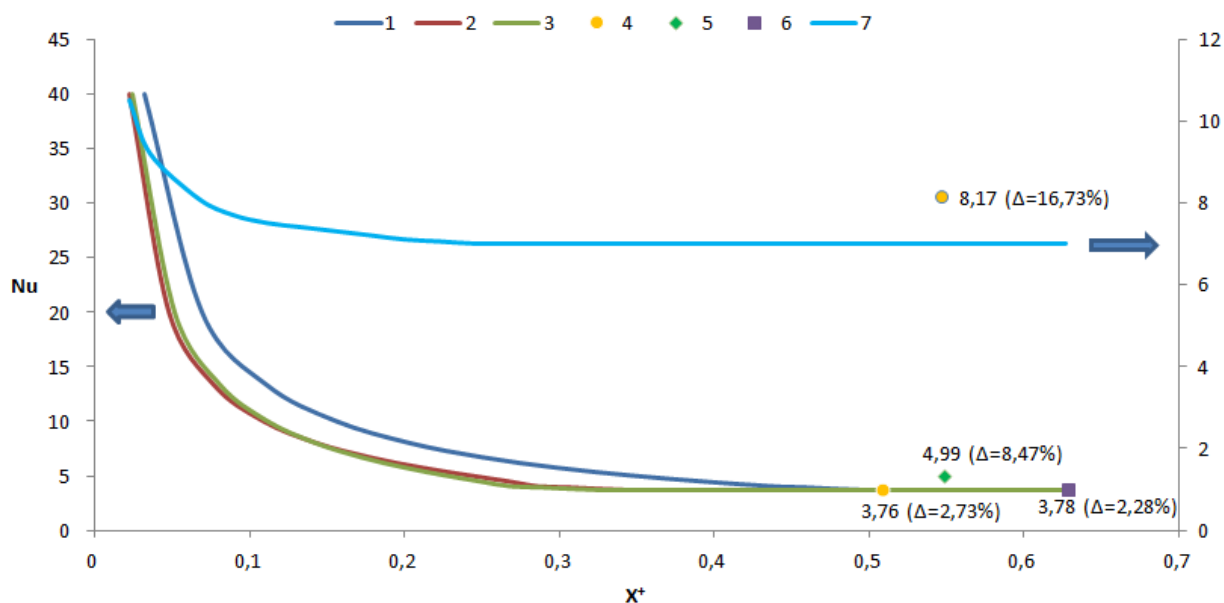


Рисунок 4.2 – Распределение критерия Нуссельта в зависимости от приведенной длины  $X^+ = X/Re$  при  $Re = 200$ , **1** –  $T_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_w = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; **2** –  $T_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_w = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; **3** –  $T_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_w = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  **4, 5, 6** – расчет критерия Нуссельта согласно РД 39-30-139-79 при надземной (4), подземной (5) и прокладке в насыпи в зимнее время (6), **7** – распределение критерия Нуссельта при турбулентном течении ( $Re=5200$ )

Из представленной на рисунке 4.2 зависимости числа  $Nu$  от приведенной длины  $X^+ = X/Re$  можно сделать вывод, что на термическом начальном участке изменение вязкости с температурой оказывает более сильное влияние на теплообмен, чем в области тепловой стабилизации.

Видно, что при  $X^+ > 0,4$  выполняются условия тепловой и гидродинамической стабилизации.

Из рисунка хорошо видно, что на больших значениях приведенной длины трубопровода  $X/Re$  число  $Nu$  принимает значение  $Nu=3,66$  установившегося ламинарного течения при постоянной температуре стенки.

Кривая 7 (рис. 4.2) показывает существенную интенсификацию тепловых процессов в сравнении с результатами, рассчитанными при ламинарном течении среды ( $\Delta=91,3\%$ ).

Возможно провести оценку тепловых эффектов в этом случае, используя РД [23], по критериям Нуссельта, рассчитанным по представленным ниже формулам:

**При надземной прокладке:**

$$Nu = \frac{K_{тр} \cdot D_n}{\lambda}, \quad (4.1)$$

где

$$K_{тр} = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + D_1 \left( \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{D_{из}}{D_2} \right) + \frac{D_1}{a_2 \cdot D_{из}}}. \quad (4.2)$$

**При прокладке трубопровода в насыпи:**

$$Nu = \frac{K'_{тр} \cdot D_n}{\lambda}, \quad (4.3)$$

где

$$K_{тр} = 1 / \left[ \frac{1}{a_1} + D_1 \left( \frac{1}{2\lambda_{сн}} \ln \frac{D_{сн}}{D_m} + \frac{1}{2\lambda_m} \ln \frac{D_m}{D_t} + \frac{1}{2\lambda_t} \ln \frac{D_t}{D_{из}} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{D_{из}}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{D_2}{D_1} \right) + \frac{D_1}{a_2 \cdot D_{сн}} \right]. \quad (4.4)$$

**При подземной прокладке трубопровода:**

$$Nu_f = 0,15 (Re \cdot Pr)_f^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad \text{— при ламинарном течении,}$$

$$Nu = \frac{a^{n+2}}{8^{3(b-nb+n)}} \cdot Re_f^{\frac{(n+2)(1-b)}{3(b-nb+n)}} \cdot Pr_f^{1/3 \cdot (1-\omega) \frac{2-3b}{3(b-nb+n)}} \cdot A^{\frac{2-3b}{3(1-nb+n)}} \quad \text{— при турбулентном}$$

течении.

Полученные значения критерия Нуссельта по РД 39-30-139-79 [23] коррелируются с методикой расчета. Относительные погрешности составили 2,73 % при надземной прокладке, 8,47 % при подземной прокладке и 2,28 % при прокладке в насыпи в зимнее время. Видно существенное влияние грунта на транспорт углеводородной среды.



Для более точного описания теплообмена движущейся углеводородной среды с многолетнемерзлым грунтом, была предложена интерполяционная формула:

$$Nu = 3,66[1 - \exp(-27X)] + aX^{-1/3} \exp(-bX), \quad (4.5)$$

Где  $a = 0,905 + 0,123 \frac{T_{гр}}{T_w} \frac{C_{пгрунта}}{C_{пстенки}}$ ;  $b = 16,2 + 3,90 \frac{T_{гр}}{T_w} \frac{\lambda_{гр}}{\lambda_{стенки}}$ .

На рисунке 4.3 изображена зависимость Nu от  $X^+$  рассчитанная по приведенной выше формуле

:

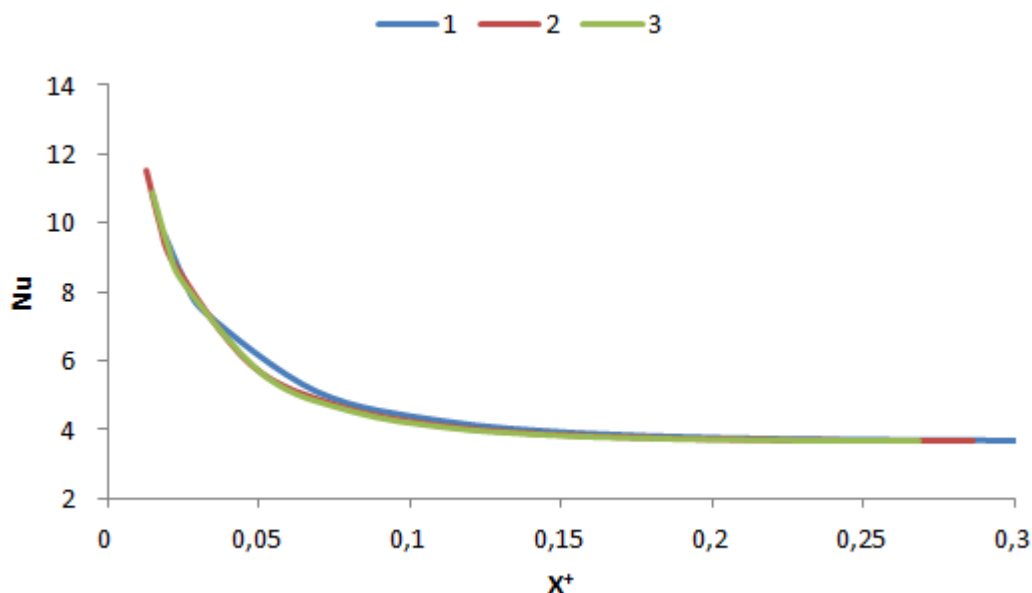


Рисунок 4.3 – Распределение критерия Нуссельта в зависимости от  $X^+$ , рассчитанное по формуле (4.5)

1 –  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_w = 5^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_w = 10^\circ\text{C}$ ; 3 –  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_w = 15^\circ\text{C}$

На рисунке 4.4 показаны результаты теоретического расчета коэффициента сопротивления трения

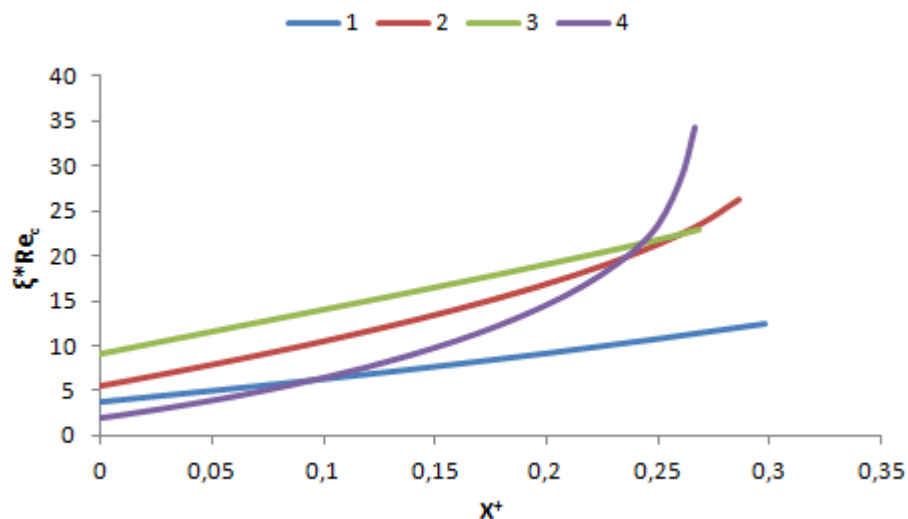


Рисунок 4.4 – Зависимость коэффициента сопротивления  $\xi$  в трубопроводе в зависимости от приведенной длины  $X^+$ .

1 –  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_w = 5^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_w = 10^\circ\text{C}$ ;

3 –  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_w = 15^\circ\text{C}$ ; 4 –  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_w = -5^\circ\text{C}$ ;

Видно, что при охлаждении потока увеличивается сопротивление за счет роста трения в пристеночной части потока.

На рис. 4.5 представлены результаты теоретического расчета коэффициента сопротивления трения течения нефти при нагреве и охлаждении.

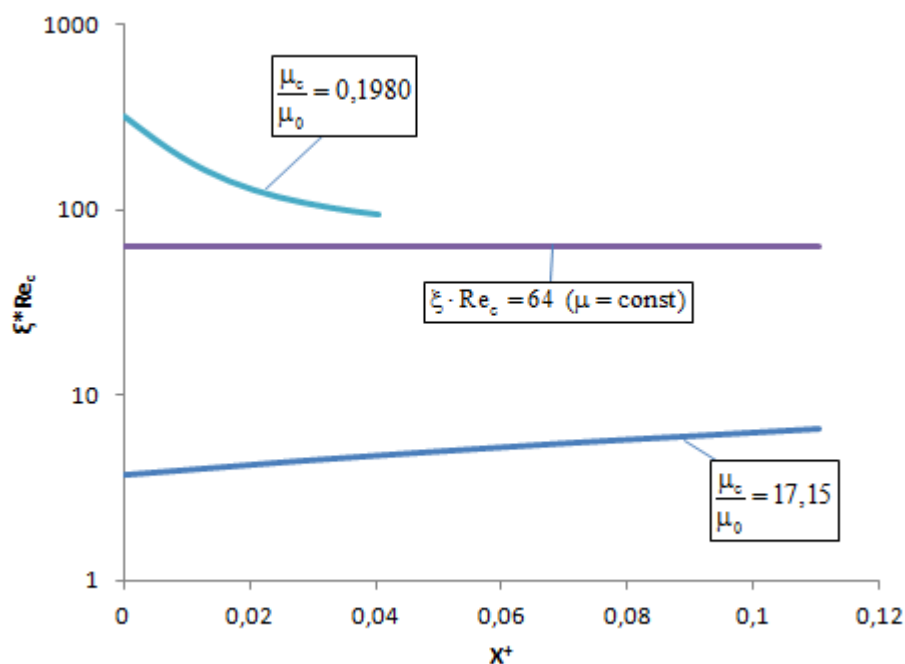


Рисунок 4.5 – Зависимость коэффициента сопротивления  $\xi$  в трубопроводе в зависимости от приведенной длины  $X^+$ . Синяя линия  $\frac{\mu_c}{\mu_0} = 17,15$  – течение нефти при охлаждении. Голубая линия  $\frac{\mu_c}{\mu_0} = 0,1980$  – течение нефти при нагревании. Горизонтальная прямая соответствует изотермическому течению ( $\xi Re_c = 64$ ).

Из представленной на рисунке зависимости  $\xi \cdot Re_c$  от приведенной длины  $X^+$  можно сделать вывод, что коэффициент сопротивления трения  $\xi$  зависит не только от  $Re_c$ , но также от  $X/Pe$  и  $\frac{\mu_w}{\mu_0}$ . В предельных случаях, то есть при  $\frac{\mu_w}{\mu_0} \rightarrow 1$  или  $X^+ \rightarrow \infty$ , величина  $\xi \cdot Re_c$  стремится к постоянному значению, соответствующему изотермическому течению ( $\xi \cdot Re_c = 64$ ).

Такое поведение  $\xi$  определяется изменением поля скорости. В частности, на рисунках 4.6 приведены распределения осевой компоненты  $W_x$ .

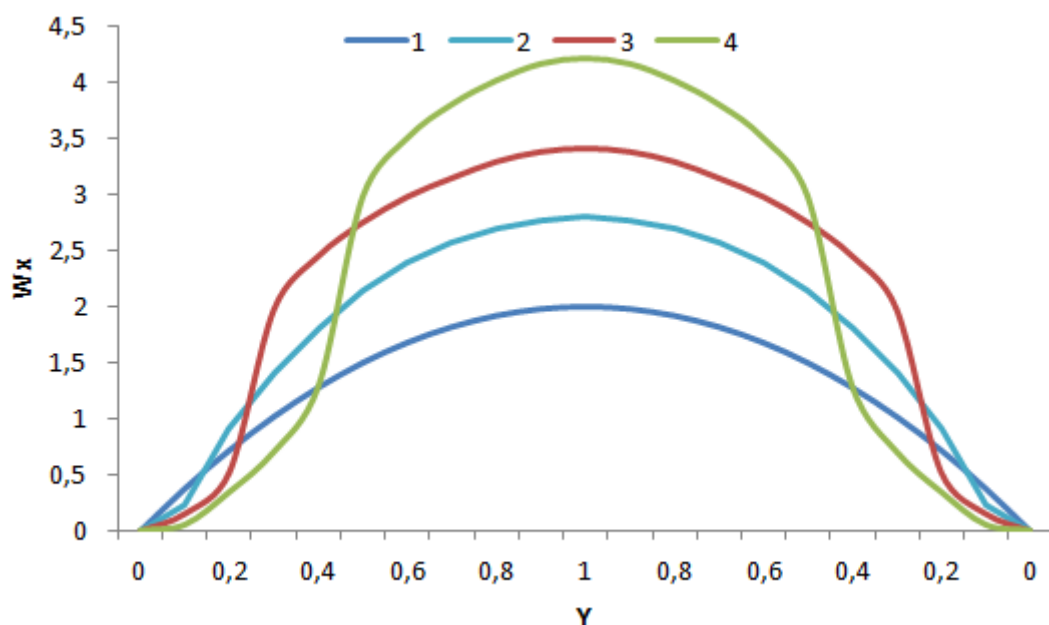


Рисунок 4.6 – Распределение безразмерной осевой скорости  $W_x$  в различных выделенных по длине сечениях  $X^+$ .

**1** –  $k = 0$ ,  $X/Pe = 0$ ; **2** –  $k = 0,1$ ,  $X/Pe = 0,0119$ ;

**3** –  $k = 0,2$ ,  $X/Pe = 0,0690$ ; **4** –  $k = 0,5$ ,  $X/Pe = 0,2025$ ;

Из рисунка 4.6 видно, что скорость вблизи стенок уменьшается, а в середине (в ядре) увеличивается по сравнению со скоростью при изотермическом течении. На такое поведение  $W_x$  влияет радиальная скорость. Ее изменения приведены на рисунке 4.7.

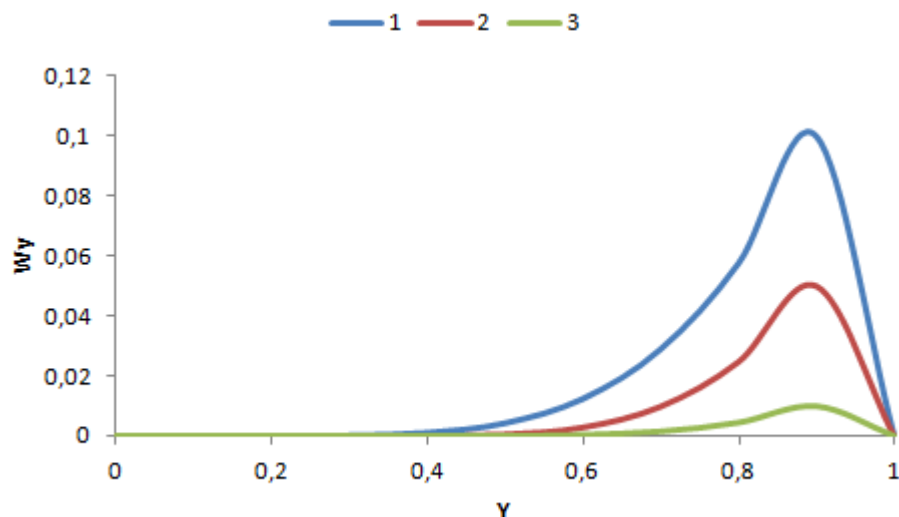


Рисунок 4.7 – Распределение безразмерной радиальной скорости  $W_y$  в различных выделенных по длине сечениях  $X^+$ .

1 –  $k = 0,1$ ,  $X/Pe = 0,0119$ ; 3 –  $k = 0,4$ ,  $X/Pe = 0,1555$ ;

4 –  $k = 0,5$ ,  $X/Pe = 0,2025$ ;

Видно, что на входе обогреваемый участок  $W_y$  заметно выше значений на входе, однако, по сравнению с  $W_x$ , ее влияние на течение и трение слабее  $\left(\frac{W_y}{W_x} = 0,1\right)$ . Такой характер изменения скорости объясняет влияние переменной вязкости на теплообмен и гидравлическое сопротивление.

## 5 Социальная ответственность

Любая организация несет ответственность перед людьми за свою деятельность, т. к. любая деятельность оказывает влияние на окружающую среду и на самих людей. Эта проявляется не только в исполнении законов и организации деятельности для получения экономической выгоды, но и в ответственном поведении без получения экономической выгоды. Такое отношение к своему положению в обществе демонстрирует более высокий уровень осознания роли организаций в жизни людей. Такое отношение называют социальной ответственностью организации.

В настоящей работе проводится исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов. Регулирование термодинамических характеристик перекачки нефти дает возможности для более эффективного транспорта нефти, в том числе и высоковязкой нефти, которая является перспективным ресурсом на фоне постепенного истощения запасов легкой нефти.

Места проведения работ – север Ямало-Ненецкого автономного округа, территория НПС (открытая местность) и рабочий кабинет, оснащенный ПК площадью 36 м<sup>2</sup>. На НПС ведутся работы по обслуживанию пункта подогрева нефти (ППН): снятие показаний контрольно-измерительных приборов, визуальный контроль оборудования, переключение запорной арматуры в соответствии с технологическими режимами. Работы в помещении: проведение теплогидравлических расчетов, анализ НТД и методических пособий.

Все работы ведутся в теплое и холодное времена года.

					<i>Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Маношкин Н.С.</i>			<i>Социальная ответственность</i>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		<i>Харламов С.Н.</i>					62	104
Консульт.						<i>НИ ТПУ зр. 25М72</i>		
Рук-ль ООП		<i>Шадрина А.В.</i>						

## 5.1 Производственная безопасность

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводится по [26]. Основные виды ОВПФ, в зависимости от их источников и уровня воздействия на рабочих местах указаны в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при проектировании и эксплуатации ППН

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.004-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Полевые работы –Снятие показаний контрольно-измерительных приборов; –Визуальный контроль оборудования; –Переключение запорной арматуры.	–Отклонение показателей климата на открытом воздухе; –Утечки токсичных веществ в атмосферу; –Повреждения в результате контакта с насекомыми.	–Электрический ток; –Повышенная температура поверхностей оборудования; –Пожаро-взрывоопасность.	ГОСТ 12.1.019-2009 [28]; ГОСТ 12.0.003-74 [29] ГОСТ 12.1.005-88 [30].
2. Работы в помещении –Анализ НТД и методических пособий; –Теплогидравлический расчет участка МН; –Экономический анализ решений.	–Отклонение показателей микроклимата; –Недостаточная освещенность рабочей зоны; –Монотонный режим работы и эмоциональные перегрузки.	–Электрический ток; –Пожаро-взрывоопасность.	СНиП 23-05-95 [37]; СанПиН 2.2.4.548-96 [38]; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 [39].

## 5.2 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды и обоснование мероприятий по их устранению

### 5.2.1 Полевые работы

#### Отклонение показателей климата на открытом воздухе

Климатические параметры Ямало-Ненецкого АО: среднегодовая температура воздуха отрицательная, на Крайнем Севере она достигает  $-10^{\circ}\text{C}$ . Минимальные температуры зимой опускаются до  $-59^{\circ}\text{C}$ . Летом, в июле, могут повышаться на всей территории до  $+30^{\circ}\text{C}$ . Частые магнитные бури, сопровождаемые полярным сиянием.

Самые теплые месяцы года - июль и август (средние температуры от  $5,0$  на побережье Карского моря до  $10,2$  на юге Енисейского залива, в отдельные летние дни температура может повышаться до  $20^{\circ}$  и даже более), самый холодный - январь, иногда февраль (средние температуры от  $-24^{\circ}$  до  $-28^{\circ}$ ). Абсолютный температурный минимум  $-63^{\circ}$ , максимум  $+25^{\circ}$ .

Среднегодовые температуры воздуха колеблются от  $-10^{\circ}$  до  $-12^{\circ}$ . В холодное время года, с ноября по март, суровость погоды определяется в большей степени скоростью ветра, чем температурой. Зимой преобладают ветры южных румбов; на побережье Карского моря нередки пурги со скоростью ветра до  $30$  м/сек и более. Летом чаще дуют северные и северо-восточные ветры

Рассматриваемые территории относятся к особому (районы, расположенные севернее Полярного круга) и IV (остальные районы) климатическим поясам. Согласно [27] работающие при низких температурах в соответствии с климатическими поясами должны быть обеспечены спецодеждой с теплозащитными свойствами:

–куртка на утеплённой подкладке, брюки на утеплённой подкладке (со сроком носки 1,5 года), сапоги утеплённые (со сроком носки 2 года);

–в особом климатическом поясе дополнительно к тёплой специальной одежде (куртка на утеплённой подкладке, брюки на утеплённой подкладке)

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64



выдаются: 1 полушубок – на 4 года, шапка- ушанка – на 3 года, меховые рукавицы – на 2 года.

Допустимая продолжительность однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в холодный период года принимается согласно [28] по таблицам 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2 – Допустимая продолжительность (ч) однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в IА климатическом регионе («особый» климатический пояс) в зависимости от температуры воздуха и уровня энерготрат

Температура воздуха °С	Энерготраты, Вт/м <sup>2</sup> (категория работ)		
	88 (Iб)	113 (IIа)	145 (IIб)
-10	Охлаждение через 2,8	Охлаждение поверхности тела отсутствует	Охлаждение поверхности тела отсутствует
-15	1,8	Охлаждение через 5,6	-
-20	1,3	2,6	-
-25	1,0	1,7	-
-30	0,9	1,3	Охлаждение через 3,4
-35	0,7	1,0	2,0
-40	0,6	0,8	1,4

Таблица 5.3 – Допустимая продолжительность (ч) однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в IB в климатическом регионе («особый» климатический пояс) в зависимости от температуры воздуха и уровня энерготрат

Температура воздуха °С	Энерготраты, Вт/м <sup>2</sup> (категория работ)		
	88 (Iб)	113 (IIа)	145 (IIб)
-10	Охлаждение поверхности тела отсутствует	Охлаждение поверхности тела отсутствует	Охлаждение поверхности тела отсутствует
-15	Охлаждение через 7,1	Охлаждение поверхности тела отсутствует	Охлаждение поверхности тела отсутствует
-20	3,4	Охлаждение поверхности тела отсутствует	-
-25	2,3	-	-
-30	1,7	Охлаждение через 4,3	-
-35	1,4	2,5	-
-40	1,1	1,9	-

### Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Основными источниками выделения вредных веществ являются нарушения герметичности оборудования (дефекты материалов и строительно-монтажных работ, коррозия, не соблюдение правил эксплуатации, окончание нормативного срока службы уплотнений запорной арматуры).

В этой зоне возможны проявления токсичных газов нефти, к которым относятся пары нефти, сероводорода, метана, легких углеводородов.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Согласно [29] воздушные смеси и газы, проявления которых возможны в рабочей зоне оборудования, по степени воздействия на организм человека относятся к третьему и четвертому классу (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ

Вещество	ПДК в воздухе рабочей зоны	Класс опасности
Сероводород в смеси с углеводородами C <sub>1</sub> -C <sub>5</sub>	3	III
Бензол	5	
Окислы азота	5	
Масла минеральные нефтяные	5	
Сероводород	10	
Оксида углерода	20	IV
Нитросоединения метана	30	
Ксилол	50	
Толуол	50	
Бензин	100	

Все из перечисленных газов и смесей газов относятся к ядам и оказывают отравляющее воздействие на организм человека. Бензин, углеводородные газы и сероводород оказывают наркотическое действие, при этом углеводородные газы и сероводород оказывают вдобавок раздражающее действие на организм человека. Углеводородные газы воздействуют на легочную ткань, а сероводород на верхние дыхательные пути. При попадании на кожу они сушат и обезжиривают ее, что может привести к таким кожным заболеваниям, как дерматит или экзема. Смеси из метана и углеводородов являются нервными ядами, действующими на центральную нервную

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

систему. Первыми признаками отравляющего действия на организм человека являются: головокружение, тошнота, недомогание, повышенная температура.

Мероприятия по снижению загазованности и защиты организма человека [29]:

–исключение источников газообразования (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений насосов и запорной арматуры);

–применение средств индивидуальной защиты (противогазы, респираторы, спецодежда, изолирующие костюмы, рукавицы, перчатки, очки, маски);

–исключение или снижение необходимости присутствия человека путем автоматизации процессов и дистанционным их управлением.

### **Повреждения в результате контакта с насекомыми**

Защита от насекомых является актуальным вопросом для предприятий, чьи работники осуществляют деятельность в лесных зонах и приграничных территориях. Укусы насекомых не безобидны: они могут спровоцировать даже у здорового человека аллергическую реакцию (зуд, боль, дерматит, отеки и повышение температуры). Возможны и более серьезные последствия: заражение микробактериозом, малярией, желтой лихорадкой, денге, филяриатозом, туляремией, гепатитом.

Наибольшую опасность представляют клещи - переносчики клещевого энцефалита. Заражение вирусом энцефалита может привести к расстройству памяти и интеллекта, параличу и даже летальному исходу. По данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека за сезон в медицинские учреждения за помощью по поводу присасывания клещей обращается более 30 тыс. человек. [30]

Работникам, выполняющим работу в районах, где в весенне-летний период наблюдается массовый лет кровососущих насекомых или где имеется

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

опасность заражения клещевым энцефалитом, дополнительно к специальной одежде, специальной обуви, предусмотренным [31], выдаются:

–костюм для защиты от кровососущих насекомых или комплект защитной трикотажной одежды (рубашка верхняя из тонкого защитного полотна, рубашка нижняя из толстого защитного полотна, головная накладка со специальной пропиткой) (1 со сроком носки – 2 года), накомарник (1 со сроком носки – 1 год);

–костюм противэнцефалитный (1 со сроком носки – 3 года), если такая выдача не предусмотрена настоящими Нормами;

–набор репеллентов: аэрозоль для защиты от гнуса и мошки или крем в тубе для защиты от гнуса и мошки (не менее 4 баллончиков или штук), аэрозоль для защиты от клещей (не менее 1 баллончика), средство после укусов – бальзам (не менее 1 тубы) – на период массового лета кровососущих насекомых.

### **5.2.2 Работы в помещении**

#### **Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Согласно [32] при нормировании параметров микроклимата выделяют холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной плюс 10°C и ниже и теплый период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше плюс 10°C. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт).

В анализируемом производственном процессе работы относятся к категории Ia и IIб.

К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

К категории Пб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Таблица 5.5 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений [32]

Сезон года	Категория тяжести работ	Температура, °С	Относительная влажность	Скорость движения воздуха
Холодный	Ia	22-24	60-40	0,1
	Пб	17-19	60-40	0,2
Теплый	Ia	23-25	60-40	0,1
	Пб	19-21	60-40	0,2

Для поддержания оптимальных показателей микроклимата в рабочей зоне, в помещении работают системы отопления и вентиляции.

### Недостаточная освещённость рабочей зоны

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

В процессе планировки освещения должны быть решены следующие вопросы:

- выбор системы освещения;
- выбор источников света;
- выбор светильников и их размещение;

- выбор нормируемой освещённости;
- расчёт освещения методом светового потока.

Основные требования и значения нормируемой освещённости рабочих поверхностей изложены в [33]. Выбор освещённости осуществляется в зависимости от размера объёма различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона.

Таблица 5.6 – Нормы освещённости производственных помещений при искусственном освещении рабочего места

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						Всего	В т.ч. от общего	
Высокой точности	От	III	в	Малый	Светлый	750	200	300
	0,3			Средний	Средний	600	200	200
	до 0,5			Большой	Темный			

### Монотонный режим работы

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе устанавливается суммарное время регламентированных перерывов.

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него. При возникновении у работающих с ПЭВМ зрительного дискомфорта и других неблагоприятных

субъективных ощущений, несмотря на соблюдение санитарно-гигиенических и эргономических требований, рекомендуется применять индивидуальный подход с ограничением времени работы с ПЭВМ.

Таблица 5.7 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ.

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую неделю при видах работ ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа А, ч	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	до 20000	до 15000	до 2	50	80
II	До 40000	до 30000	до 4	70	110
III	До 60000	до 40000	до 6	90	140

В случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с ВДТ (набор текстов или ввод данных и т.п.) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, рекомендуется организация перерывов на 10-15 мин через каждые 45-60 мин работы.

Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 1 ч.

Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития позотонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений.



## 5.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды и обоснование мероприятий по их устранению

### 5.3.1 Полевые работы

#### Электрический ток

Атмосферное электричество является опасным фактором ввиду того, что молния имеет температуру 10000 °С, напряжение 220 МВ и силу тока до 1200кА.

Опасными воздействиями атмосферного электричества являются [34]:

–ударная волна, сформированная при электрическом разряде, способна вызвать механические повреждения;

–прямое попадание молнии способно вызвать поражение электрическим током обслуживающего персонала, а также привести к пожару;

–электростатическая и электромагнитная индукция, являющиеся вторичным проявлением атмосферного электричества, способны вызвать искрение в местах с плохим контактом, следствием чего может служить взрыв в случае имеющихся взрывоопасных веществ.

Для защиты от прямых ударов молнии применяются молниеотводы, которые принимают удар молнии на себя и отводят его в землю. Для молниезащиты территории НПС, сооружения оборудуют молниеотводами [35].

Поскольку на территории НПС находятся энергоемкие объекты, например, насосное оборудование, то возникает опасность поражения электрическим током, напряжение которого достигает 10 кВ, а также опасность возникновения пожара и/или взрыва.

Поражающими факторами электрического тока являются: электроожог, электроудар и электросудорога. Электросудороги характерны для напряжения до 1000 В, электроудары – свыше 1000 В, электроожоги – до и

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

свыше 1000 В. Порог осязательности тока равен 0,5-1,5 мА. При воздействии на человека тока силой в 10-15 мА начинаются болезненные судороги. Ток силой в 20-25 мА оказывает затруднения дыхания. Ток силой в 100 мА является смертельным для человека при воздействии более 2 с.

Меры защиты согласно [34]:

- применяются защитное зануление, защитное заземление, защитное отключение;
- обеспечивают изоляцию, ограждение и недоступность электрических цепей;
- использование предупредительных плакатов и знаков безопасности;
- применяют средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки и боты, диэлектрические резиновые коврики, инструменты с изолированными ручками.

### **Повышенная температура поверхностей оборудования**

К опасности термического характера относятся повышенная температура поверхности оборудования и тепловое излучение.

Тепловым излучением называется процесс, при котором теплота излучения распространяется в основном в форме инфракрасного излучения с длиной волны около 10 мм. Источниками тепловых излучений являются все тела, нагретые до температуры выше температуры окружающей среды. В условиях производства источниками тепловых излучений могут быть наружные стенки горячих трубопроводов, технологическое оборудование, провода и кабели электросетей, электрические машины и аппараты и др. Также контакт с нагретыми поверхностями может вызвать ожоги различных тканей организма человека. Изменения, происходящие в клетках при нагревании, определяются соотношением между уровнем повышения температуры и продолжительностью гипертермии. Так, гибель эпидермальных клеток кожи наступает при нагревании до 44 °С в течении не

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

менее 6ч. Повышение температуры на 1 °С сокращает этот срок вдвое, а при температуре 51 °С и выше скорость развития необратимых изменений ещё более возрастает. При нагревании до температуры 70 °С гибель клеток наступает практически мгновенно.

Температура нагретых поверхностей производственного оборудования и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45 °С [31].

Для защиты людей от вредного воздействия теплового излучения и высоких температур применяют теплоизоляцию горячих поверхностей, например, путем обмазки наружных поверхностей каким-либо строительным раствором с наполнителем в виде стекловаты или асбеста. Общей защитой от излучения могут служить экраны из малотеплопроводных материалов (асбест, шифер), а в качестве средств индивидуальной защиты применяются спецодежда (брезентовые или суконные костюмы).

### **Пожаровзрывобезопасность**

Основным поражающим фактором при аварии на НПС является тепловое излучение при струйном горении или горении в котловане, аварии со взрывом газовоздушной смеси, самопроизвольное загорание пиррофорных соединений. Другими источниками возгорания могут послужить неосторожное обращение с огнем или электрооборудованием, короткое замыкание.

Основными источниками выделения вредных веществ являются:

- предохранительные устройства сосудов под давлением;
- сосуды с недостаточной герметичностью вследствие коррозии, нарушения сплошности изоляционного материала, грубых ошибок персонала и т.д.;
- сброс давления в трубопроводе и оборудовании при проведении ремонтных работ.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Таблица 5.8 – Характеристика взрывопожароопасных веществ

Наименование	Температура, °С		Предел взрываемости, мг/л	
	Вспышки	самовоспламенения	Нижний	верхний
Метан	—	537	29	113
Этан	—	515	31	194
Пропан	—	470	31	200
Бутан	—	372	33	225
Сероводород	—	246	57	650

Методы снижения взрывопожароопасности:

—исключение появления источников утечки вредных веществ (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры);

—вентилирование помещений, в которых возможно появление взрывопожароопасных веществ, для снижения их концентрации в воздухе рабочей зоны;

—предотвращение образования пирофорных отложений в коммуникациях и резервуарах НПС;

—применение газоанализаторов для контроля загазованности;

—использование электрооборудования во взрывобезопасном исполнении;

—использование инструмента в искробезопасном исполнении;

—оптимальное расположение зданий и сооружений согласно генеральному плану НПС, которое направлено на сокращения ущерба от возможного пожара и/или взрыва;

—соблюдение правил пожарной безопасности и производственного труда при эксплуатации, ремонте и сооружении объектов НПС: блоков, резервуаров и т.д.

На случай возникновения ситуации, когда предотвратить появление пожара всё же не удалось, на территории НПС должны находиться первичные средства пожаротушения: емкость с песком, ведро, лопата, багор, асбестовые покрывала, ручные огнетушители. Должны быть установлены планы эвакуации персонала.

#### **5.4 Экологическая безопасность**

Опасные производственные объекты, в число которых входит и НПС должны располагаться на достаточном для обеспечения безопасности населения и невозможности проникновения на объект расстоянии от жилых зон.

Для этого применяют следующие меры:

1. НПС располагается на удалении от населенных пунктов;
2. Вокруг НПС организуется санитарно-защитная зона;
3. Производится ограждение территории по периметру;
4. Устанавливается круглосуточное видеонаблюдение;
5. Сооружают охранную сигнализацию по периметру;
6. Устанавливаются информационные и запрещающие знаки.

##### **5.4.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу**

Загрязняющие вещества могут попадать в атмосферу при нарушениях в работе оборудования, износе уплотнений, повышения давления в трубопроводе и оборудовании выше допустимых пределов, вследствие чего часть паров жидкостей либо непосредственно газ сбрасывается в атмосферу.

Помимо собственных природных углеводородов, их спутников, продуктов переработки, в составе загрязнителей содержатся многочисленные реагенты, катализаторы, ПАВ, ингибиторы, щелочи. Кислоты, вещества, образующиеся при сжигании, химическом превращении и т.д., основные из них: углеводороды, бензин, керосин, предельные углеводороды, природный

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

газ, оксиды углерода, сернистые соединения, сероводород, меркаптаны, диоксид серы, оксид азота NO, диоксид азота NO<sub>2</sub>, бенз(а)пирен.

Мероприятия по защите атмосферы:

- проверка оборудования на прочность и герметичность;
- неукоснительное соблюдение согласованных технологических – режимов работы оборудования;
- своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры;
- использование системы контроля загазованности;
- использование средств очистки воздуха и систематический ремонт.

#### **5.4.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу**

Хотя объекты нефтегазового комплекса не являются мощными источниками загрязнения водной среды, тем не менее, находясь почти во всех районах страны, они прямо или косвенно могут оказывать воздействие на поверхностные и подземные воды.

Сточные воды (стоки) предприятий нефтегазового комплекса – это жидкие отходы, образующиеся в процессе производственной деятельности и хозяйственно-бытового функционирования предприятий. Задача персонала состоит в сведении к минимуму возможных последствий этого воздействия.

Основные потоки, образующие производственные загрязненные сточные воды, представляют собой:

- конденсационно-пластовые сточные воды, выделяющиеся в первичных сепараторах предприятий добычи и транспорта нефти и газа
- подтоварные (пластовые) воды из резервуарных парков
- технические воды после промывки оборудования
- сточные воды с установок водоподготовки
- сточные воды продувок котлов и систем оборотного водоснабжения
- воды от прямоточных схем охлаждения различного оборудования
- воды от вспомогательных производств (РМЦ, гаражи).

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

При этом большую часть на НПС составляют хозяйственно-бытовые сточные воды.

Основные загрязняющие вещества в сточных водах нефтепромыслов: нефть, соли (хлориды, железо), взвешенные вещества, деэмульгаторы, сероводород.

Основные загрязнители сбрасываемых бытовых сточных вод: взвешенные вещества, сухой остаток (соли), аммоний-ион, нитриты, нитраты, хлориды, сульфаты, нефтепродукты, железо общее.

Меры по защите гидросферы:

- оборотное водоснабжение;
- очистка сточных вод;
- закачка сточных вод в глубокие водоносные горизонты (подземное захоронение) ;
- очистка и обеззараживание поверхностных вод, используемых для водоснабжения и других целей.

#### 5.4.3 Анализ воздействия объекта на литосферу

По причине механических нарушений и частенько химических загрязнений происходит постепенная деградация почв, которая стала одной из основных экологических проблем нефтегазовой отрасли. Наибольший ущерб приносят аварии на магистральных нефтепроводах и газопроводах. Так при одном порыве нефтепровода выбрасывается на литосферу в среднем 2 т нефти, что выводит из строя 1000 м<sup>3</sup> земли, а в результате аварии на газоконденсатопроводе на землю в среднем попадает не менее 2 млн т/год нефтепродуктов.

Деградация почв принимает формы химического загрязнения, опустынивания, заболачивания и т.д.

Механические нарушения почвенного покрова наблюдаются на всех объектах нефтяной и газовой отрасли и связано со:

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

–строительными работами (возведение буровых установок, устьевого оборудования, прокладка трубопроводов, строительство промышленных корпусов, жилых поселков и коммуникаций);

–рекультивационными работами (снятие плодородного слоя, засыпка траншей, планировка амбаров и др.).

Основные причины химического загрязнения почв на нефте- и газотранспортных предприятиях: разлив углеводородного конденсата, ингибиторов коррозии, гидратообразование во время продувок и поршневании магистральных газопроводов, разлив турбинного топлива, метанола, органических кислот, ПАВ, смазочных компрессорных масел, выбросы продуктов сгорания от топливоиспользующего оборудования;

Характерные загрязняющие вещества:

–жидкие (нефтяные углеводороды, минерализованные пластовые воды, химреагенты, буровые растворы и др.);

–газообразные (попутный и природный газ и продукты его сгорания);

твердые (шламы, серная пыль в районах предприятий переработки сернистого углеводородного сырья).

Мероприятия по уменьшению негативного влияния на литосферу:

–все отходы подлежат селективному сбору, временному хранению на специально отведенных площадках в соответствии с проектом нормативов образования и лимитов размещения отходов и передаче на утилизацию специализированным организациям в соответствии с заключенными договорами;

–проверка оборудования на прочность и герметичность;

–неукоснительное соблюдение согласованных технологических режимов работы оборудования;

–своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80



## 5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одной из наиболее частых аварий при работе с горючими газами и легковоспламеняющимися жидкостями являются взрывы. Для обеспечения пожаровзрывобезопасности производств в ГОСТ 12.1.004-91 был введен новый критерий – ПДВК (предельно допустимая взрывобезопасная концентрация), обеспечивающий на каждом рабочем месте безопасность:

$$\text{ПДВК} = \frac{C_{нт}}{K''_{6.э}} \quad (6.1)$$

где  $K''_{6.э}$  – коэффициент безопасности к нижнему концентрационному пределу воспламенения.

$$C_{нт} = C_n(1,020 - 0,000799t) \quad (6.2)$$

где  $C_n$  – нижний концентрационный предел воспламенения газа или пара в воздухе при атмосферном давлении и температуре 25°C, % об;  $t$  – температура пара или газа, °C.

При ведении взрывных работ колебания грунта могут быть опасными для зданий и сооружений, а взрывная волна – опасной для человека и оконного остекления зданий. Поэтому, все работы, связанные с взрывоопасными и взрывопожароопасными объектами проводятся в дневное время, исключение составляют аварийные ситуации.

Руководителем проведения работ определяются средства индивидуальной защиты для каждого из членов рабочего персонала (противогазы, спасательные пояса и т.д.). На него возлагается ответственность

по обеспечению средствами пожаротушения (огнетушителем, ящиком с песком и лопатой, ведром с водой) места работ, а также по назначению ответственного за непрерывный контроль параметров газовой среды, что отражается в виде подписи руководителя объекта в наряде-допуске.

Также в число возможных чрезвычайных ситуаций входят ситуации природного, экологического, социального и военного характера. Это – бури,

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

ураганы, сильные морозы, терроризм, инфекционные заболевания, разрушение озонового слоя и т.д. Для устойчивого функционирования НПС необходимо заранее разработать организационно-технические мероприятия.

Организационные мероприятия по устойчивому функционированию:

–необходимо планировать защиту населения и территорий от ЧС на уровне предприятия;

–быть готовыми к эвакуации работающих (план);

–подготовить и поддерживать в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС;

–создавать запасы средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;

–подготавливать работающих к действиям в условиях ЧС;

–должны быть в наличии и в постоянной готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о ЧС.

Инженерно-технические меры:

–проектирование, строительство и эксплуатация инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных;

–инженерное обеспечение защиты населения – строительство защитных сооружений (средств коллективной защиты), поддержание их в готовности;

–должно сооружаться инженерное оборудование на территории региона с учетом характера воздействия прогнозируемых ЧС;

–должны создаваться санитарно-защитные зоны вокруг потенциально опасных объектов.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

## 5.6 Правовые нормы обеспечения безопасности

Безопасные и здоровые условия труда должны обеспечиваться планомерным и систематическим проведением комплекса организационных, социальных, технических и финансово-экономических мероприятий, в том числе:

- четким распределением функций, задач и ответственности различных структур, как по вертикали, так и по горизонтали;
- обязательным регламентированием всех видов работ;
- обязательностью первоочередного финансирования мероприятий по охране труда отдельной строкой, организацией бухгалтерского учета расходования выделенных средств;
- обязательностью соответствия производственных процессов и проводимых различных мероприятий нормативным требованиям, принятием критериев для количественной оценки результатов в области охраны труда;
- организацией обучения и систематическим повышением квалификации работников;
- созданием санитарно-бытовых и санитарно-гигиенических условий труда для работников, эффективной системы медицинского обслуживания, обеспечением работников специальной одеждой, спецобувью, а также средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с нормами и правилами;
- организацией работ по обеспечению безопасных и здоровых условий труда; организацией эффективной системы контроля;
- распределением обязанностей и ответственности должностных лиц, исполнителей по обеспечению безопасности труда при ведении производственно-технологических процессов и других действий в интересах производства.

Организация работ по обеспечению безопасных и здоровых условий труда должна содержать в своем составе и предусматривать планомерное и

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

систематическое проведение предупредительно - профилактических работ, работ по обеспечению безопасности труда при эксплуатации оборудования, зданий и сооружений.

### **Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать: - ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; - поверхность сиденья с закругленным передним краем; - регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.; - высоту опорной поверхности спинки  $300 \pm 20$  мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм; - угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах  $\pm 30$  градусов; - регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм; - стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм; - регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах  $230 \pm 30$  мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо - восток.

Выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее:

1. Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;

2. Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5-2,0 м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4-0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики;

3. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ;

4. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию;

5. Стул не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм.

### **Заключение**

Был проведен анализ вредных и опасных факторов производственной среды (территория НПС и рабочее место с ПК):

1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе;
2. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу и методы их предотвращения;
3. Повреждения в результате контакта с насекомыми;
4. Отклонение показателей микроклимата в помещении;
5. Недостаточная освещённость рабочей зоны;
6. Монотонный режим работы и эмоциональные перегрузки;
7. Поражение электрическим током;
8. Повышенная температура поверхности оборудования;
9. Пожаро-взрывоопасность.

Рассмотрено воздействие НПС на атмосферу, литосферу и гидросферу.

Выявлены возможные ЧС на рассматриваемом объекте и разработаны методы по повышению устойчивости объекта к перечисленным ЧС.

Описаны трудовые нормы обеспечения безопасности, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

## 6      **Финансовый      менеджмент,      ресурсоэффективность,      ресурсосбережение**

По «горячим» нефтепроводам происходит транспортировка высоковязких и тяжёлых нефтей при высоких значениях температуры. Множество таких параметров перекачки как вязкость, расход, давление, гидравлическое сопротивление зависят от температуры нефти. Таким образом, себестоимость и выгода от перекачки также имеют зависимость от температурного режима нефтепровода.

Применение технологии предварительного подогрева нефти позволяет увеличить пропускную способность трубопровода, что позволяет получать больше выручки от транспорта дополнительных объемов нефти. Также подогрев нефти позволяет снизить потребление электроэнергии. Снижение потребления электроэнергии уменьшает вредное воздействие на окружающую среду. В случае, если источником электроэнергии является атомная электростанция, проблема заключается в тех радиоактивных отходах, которые еще не научились перерабатывать так, чтобы сделать их абсолютно безопасными для окружающей среды. Даже гидроэлектростанции, которые получают электричество за счет энергии падающей воды, вредят экологии: их строительство приводит к затоплению ценных сельскохозяйственных земель, разрушению существующих экосистем, изменению климата.

В данной части работы будет рассчитан экономический эффект от применения технологии предварительного подогрева нефти, также будет рассчитано уменьшение количества потребляемой электроэнергии.

					<i>Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Маношкин Н.С.</i>			<b>Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Харламов С.Н.</i>					87	104
<i>Консульт.</i>						<b>НИ ТПУ зр. 2БМ72</b>		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

## 6.1 SWOT-анализ

SWOT-анализ – один из наиболее применяемых методов стратегического планирования. С его помощью возможно провести аналитическую работу, определить сильные и слабые стороны научно-исследовательского проекта, а также выявить возможности и угрозы внешней среды.

Таблица 6.1 – Матрица SWOT

Внутренняя среда	Сильные стороны	Слабые стороны
	Возможность анализа теплообмена в условиях развивающегося потока	Наличие устаревших данных
	Систематизация данных о приближенных интегро-дифференциальных методах описание структуры течения углеводородов	Наличие ряда допущений к математическому моделированию
Внешняя среда	Возможности	Угрозы
	Постоянный поиск путей снижения себестоимости продукции	Низкая вероятность реализации проекта
	Продолжение научных исследований с целью усовершенствования имеющейся технологии	Недостаточное финансирование коммерциализации научной разработки

## 6.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для определения готовности работы к коммерциализации и выявления уровня собственных знаний проводится оценка степени готовности научного проекта. В таблице 6.2 приведены показатели степени проработанности проекта.



Таблица 6.2 – Оценка степени коммерциализации проекта

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определение имеющегося научно-технического задела	4	3
2	Определение перспективных направлений коммерциализации научно-технического задела	5	3
3	Определение отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4	Определение товарной формы научно-технического задела для представления на рынок	5	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6	Проведение оценки стоимости интеллектуальной собственности	2	4
7	Проведение маркетинговых исследований рынков сбыта	2	3
8	Разработка бизнес-плана коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определение путей продвижения научной разработки на рынок	2	3
10	Разработка стратегии (формы) реализации научной разработки	3	3
11	Проработка вопросов международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3

Продолжение таблицы 6.2

12	Проработка вопросов использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13	Проработка вопросов финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14	Наличие команды для коммерциализации научной разработки	3	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	49	48

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (1)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;  $B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

По значению  $B_{\text{сум}}$  можно сделать выводы о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Показатель степени проработанности научного проекта составляет 49, показатель средней эффективности работы. Знаний разработчика достаточно для успешного продвижения и коммерциализации проекта. Показатель уровня имеющихся знаний у разработчика – 48, что говорит о перспективности выше среднего.

На основе вышесказанного можно сделать вывод о необходимости проработки вопросов использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот. Также последующими задачами является исследование вопросов финансирования научной разработки и поиск команды для коммерциализации научной разработки. Задачи выхода на зарубежный рынок и интернационального сотрудничества не ставятся.

### 6.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта возникает необходимость в построении календарного и сетевых графиков проекта. Линейный график представлен в виде таблицы 6.3.

Таблица 6.3 – Календарный план проекта

Код	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Получение задания	2	13.01.19	15.01.19	Маношкин Н.С. Харламов С.Н.
2	Введение	4	16.01.19	20.01.19	Маношкин Н.С.
3	Литературный обзор	21	20.01.18	10.02.18	Маношкин Н.С.
4	Постановка цели и задач исследования	5	10.02.18	15.02.18	Маношкин Н.С. Харламов С.Н.
5	Построение методики расчета	15	15.02.19	1.03.19	Маношкин Н.С.
6	Расчетная часть	57	2.03.18	28.04.18	Маношкин Н.С. Харламов С.Н.
7	Оформление ВКР	15	29.04.18	14.05.18	Маношкин Н.С. Харламов С.Н.
8	Разработка презентации	5	15.05.18	20.05.18	Маношкин Н.С.

С помощью диаграммы Ганта проиллюстрированы продолжительности работ. Продолжительность работы обозначается отрезком с датой начала и окончания в соответствующей декаде месяца.

Таблица 6.4 – Календарный план-график написания магистерской диссертации

Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ														
			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Получение задания	Магистр Руководитель	2															
Введение	Магистр	4															
Литературный обзор	Магистр	21															
Постановка задачи исследования	Магистр Руководитель	5															
Построение методики расчета	Магистр	15															
Расчетная часть	Магистр Руководитель	57															
Оформление ВКР	Магистр Руководитель	15															
Разработка презентации	Магистр	5															



– Магистр



– Научный руководитель

#### 6.4 Расчёт экономического эффекта перекачки с подогревом

Тариф на транспортировку нефти принимаем равным 10,9140 руб/(100 км\*т), согласно [46].

Капитальные затраты на установку пункта подогрева нефти принимаем равным 300 млн. рублей согласно [47].

Данные по расходу и потерям напора приняты с условием, что транспорт ведется в одном оптимальном для насосных установок режиме. Все исходные данные приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Исходные данные для расчёта

Показатель			Значение
Тариф за перекачку	$\sigma$ тариф	руб/*(100 км*т)	35,3344
Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений	E	-	0,12
Нормативное значение годовых отчислений на амортизацию	$\alpha_I$	-	0,085
Стоимость единицы электроэнергии	$\sigma_m$	руб/(кВт*ч)	4
Стоимость единицы тепловой энергии	$\sigma_m$	руб/Дж	$15 \cdot 10^{-8}$
КПД насоса	$\eta_m$	-	0,8
КПД теплового агрегата	$\eta_m$	-	0,7
Время работы в год	$\tau_m, \tau_m$	с	30758400
Капитальные затраты на ППН	$Z_{ППН}$	млн. руб	300
Разница температур в начале и в конце участка	$\Delta T$	К	35
Длина участка	$L$	м	108400
<b>Для транспортировки без подогрева</b>			
Расход среды	$Q$	м <sup>3</sup> /с	0,69
Потери напора	$H$	м	1413
<b>Для транспортировки с подогревом</b>			
Расход	Q	м <sup>3</sup> /с	0,71
Потери напора	H	м	540

Время работы нефтепровода принимаем равным 356 рабочим дням, согласно [48].

Себестоимость перекачки с подогревом складывается из затрат механической (насосной) энергии и затрат тепловой энергии на подогрев среды. Рассчитываем себестоимость перекачки по формуле:

$$S_{\text{под}} = \frac{\rho \cdot g \cdot \sigma_m \cdot Q \cdot H}{\eta_m} + \frac{\sigma_t \cdot C_v \cdot \Delta T \cdot Q \cdot \rho}{\eta_t}, \quad (3.1)$$

где  $\sigma_m$  – стоимость единицы электрической энергии, руб/(Вт\*с);

$\sigma_t$  – стоимость единицы тепловой энергии, руб/Дж;

$\eta_m, \eta_t$  – КПД, соответственно, насосного оборудования и теплового;

$\rho$  – плотность транспортируемой нефти, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – расход транспортируемой нефти, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – потери напора на рассматриваемом участке, м;

$C_v$  – теплоёмкость среды, Вт/м<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$$S_{\text{с под}} = \frac{850 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 0,71 \cdot 540}{0,8 \cdot 10^3 \cdot 3600} + \frac{15 \cdot 10^{-8} \cdot 2100 \cdot 35 \cdot 0,71 \cdot 850}{0,7} = 5,39 \text{ руб/с}$$

Для перекачки при температуре окружающей среды затраты состоят только из трат механической энергии:

$$S_{\text{без под.}} = \frac{\rho \cdot g \cdot \sigma_m \cdot Q \cdot H}{\eta_m} \quad (3.2)$$

$$S_{\text{без под}} = \frac{\rho \cdot g \cdot \sigma_m \cdot Q \cdot H}{\eta_m} = \frac{865 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 0,69 \cdot 1413}{0,8 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 11,49 \text{ руб/с}$$

Рассчитаем экономический эффект как дополнительную тарифную выручку за перекачку дополнительной массы нефти за вычетом дополнительных затрат:

$$\Xi = \Delta B - \Delta Z = B_{\text{под}} - B_{\text{без под}} - \Delta Z, \quad (3.3)$$

где  $\Delta B$  – дополнительная тарифная выручка, руб.

Выгода от транспорта при установившемся расходе находится как

					Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

выручка за вычетом эксплуатационных затрат:

$$B_{\text{под}} = \tau \cdot (\sigma_{\text{тариф}} \cdot L \cdot Q \cdot \rho - S_{\text{с под}}), \quad (3.4)$$

$$B_{\text{под}} = \tau \cdot (\sigma_{\text{тариф}} \cdot L \cdot Q \cdot \rho - S_{\text{без под}}), \quad (3.5)$$

где  $\sigma_{\text{тариф}}$  – удельный тариф за перекачку нефти, руб/кг\*м

$L$  – длина участка нефтепровода, на котором производится расчёт, м.

Дополнительные затраты:

$$\Delta Z = \alpha_1 \cdot Z_{\text{ППН}} + E \cdot Z_{\text{ППН}}, \quad (3.6)$$

где  $Z_{\text{ППН}}$  – капитальные затраты на установку пункта подогрева нефти, руб;

$\alpha_1$  – нормативное значение годовых отчислений на амортизацию ППН;

$E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, для нефтегазовой отрасли.

$$\Delta Z = 0,085 \cdot 300 + 0,12 \cdot 300 = 61,5 \text{ млн. рублей}$$

$$B_{\text{с под}} = 30758400 \cdot \left( \frac{35,3344}{10^8} \cdot 108400 \cdot 0,71 \cdot 850 - 5,39 \right) = 505 \text{ млн. рублей}$$

$$B_{\text{без под}} = 30758400 \cdot \left( \frac{35,3344}{10^8} \cdot 108400 \cdot 0,69 \cdot 865 - 11,49 \right) = 349,7 \text{ млн. рублей}$$

$$\Xi = 505 - 349,7 - 61,5 = 93,8 \text{ млн. рублей}$$

Зарплата обслуживающего персонала, затраты на обслуживание, мониторинг трасс и другие затраты не зависят от объема перекачки.

Таким образом, при применении технологии транспорта нефти в указанных условиях экономический эффект может достигать 93,8 млн. руб./год при ведении транспорта в оптимальном режиме работы насосного оборудования.

## 6.5 Расчёт снижения потребления электроэнергии

Применение технологии перекачки нефти с подогревом позволяет снизить количество потребляемой электроэнергии.

$$E = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_m}. \quad (3.7)$$

Рассчитываем потребление электроэнергии при транспорте без подогрева:

$$E_{\text{без под}} = \frac{865 \cdot 9,81 \cdot 0,69 \cdot 1413}{0,8} = 10342 \text{ кВт}$$

Рассчитываем потребление электроэнергии при транспорте с подогревом:

$$E_{\text{с под}} = \frac{850 \cdot 9,81 \cdot 0,71 \cdot 540}{0,8} = 3996 \text{ кВт}$$

Уменьшение потребления электроэнергии составило

$$\Delta E = 10342 - 3996 = 6346 \text{ кВт}$$

Таким образом, при применении технологии транспорта нефти в указанных условиях экономический эффект достигает 93,8 млн. руб./год при ведении транспорта в оптимальном режиме работы насосного оборудования, а эффект экономии электроэнергии может достигать 6346 кВт в год. Так как расход магистрального трубопровода зависит еще и от количества нефти сдаваемой нефтедобывающими компаниями, отклонения параметров режима работы от приведенных для расчета неизбежны. Поэтому указанные значения являются оптимистичной оценкой. Дальнейшее уточнение должно проводиться с использованием плановых объёмов перекачки.



## Заклучение

В процессе исследования проводились расчеты изменений полей скорости, распределений температуры по длине трубопровода, зависимости теплового пограничного слоя от длины трубопровода. Анализировались процессы конвективного теплообмена в условиях развивающегося потока и формирования теплового и динамического пограничных слоев по длине.

В результате исследования был произведен сравнительный анализ интегро-дифференциальных и точных методов моделирования динамики и теплообмена при течении углеводородных сред в трубопроводах на начальных участках в режимах вязкостно-инерционного ламинарного и турбулентного течения и теплообмена. На основании полученных результатов было выявлено, что прогноз интенсивности теплообмена вполне корректно можно проводить по рекомендуемым критериальным связям для сопротивления и теплообмена. Результаты находятся в хорошем соответствии с имеющимися опытными данными. Это позволяет избежать аварийного функционирования оборудования при транспортировке сырья и иметь заключения об особенностях гидродинамических и тепловых эффектов в условиях Крайнего Севера.

Изменения толщины теплового пограничного слоя  $k$  от приведенной длины  $X^+ = X/Re$  позволили получить представление об изменениях интегральных параметров течения и теплообмена ( $W_x$ ,  $W_y$ ,  $Nu$ ,  $\theta$ ), так как по длине формируются поля скорости и температуры потока.

В результате теоретического расчета коэффициента сопротивления трения течения нефти при нагреве и охлаждении можно сделать вывод, что коэффициент сопротивления трения  $\zeta$  зависит не только от  $Re_c$ , но также от

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Маношкин Н.С.			Заклучение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов С.Н.					97	104
Консульт.						НИ ТПУ зр. 25М72		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

$X/Re$  и  $\frac{\mu_w}{\mu_0}$ . В предельных случаях, то есть при  $\frac{\mu_w}{\mu_0} \rightarrow 1$  или  $X^+ \rightarrow \infty$ , величина

$\zeta \cdot Re_c$  стремится к постоянному значению, соответствующему изотермическому течению ( $\zeta \cdot Re_c = 64$ ).

Такое поведение коэффициента трения  $\xi$  определяется изменением поля скорости. В частности были приведены распределения осевой  $W_x$  и радиальной  $W_y$  компоненты из которых видно, что на входе обогреваемый участок  $W_y$  заметно выше на входе, однако, по сравнению с  $W_x$ , ее влияние на течение и трение слабее  $\left( \frac{W_y}{W_x} = 0,1 \right)$ .

Из представленной зависимости числа  $Nu$  от приведенной длины  $X^+ = X/Re$  можно сделать вывод, что на термическом начальном участке изменение вязкости с температурой оказывает более сильное влияние на теплообмен, чем в области тепловой стабилизации.

Зависимость  $Nu$  от приведенной длины  $X^+ = X/Re$  при турбулентном течении показывает существенную интенсификацию тепловых процессов в сравнении с результатами, рассчитанными при ламинарном течении среды ( $\Delta = 91,3 \%$ ).

Полученные значения критерия Нуссельта по РД 39-30-139-79 коррелируются с предложенной методикой расчета. Относительные погрешности составили 2,73 % при надземной прокладке, 8,47 % при подземной прокладке и 2,28 % при прокладке в насыпи в зимнее время. Видно существенное влияние грунта на транспорт углеводородной среды.

Для более точного описания теплообмена движущейся углеводородной среды с многолетнемерзлым грунтом, была предложена интерполяционная формула:

$$Nu = 3,66[1 - \exp(-27X)] + aX^{-1/3} \exp(-bX),$$

$$\text{Где } a = 0,905 + 0,123 \frac{T_{гр}}{T_w} \frac{C_{грунта}}{C_{стенки}}; \quad b = 16,2 + 3,90 \frac{T_{гр}}{T_w} \frac{\lambda_{гр}}{\lambda_{стенки}}.$$

					Заключение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.П. Теплообмен в ламинарном потоке на участке нестабилизированного течения в круглоцилиндрической трубе / Вестник Оренбургского государственного университета. – 2002, № 8, стр. 106-110.
2. Васильев А.П. Конвективный теплообмен в ламинарном потоке / Вестник Оренбургского государственного университета. – 2003, № 3, стр. 97-101.
3. Рогачев В.А. Влияние конфигурации входа на закономерности течения и теплообмена в начальном участке круглой трубы / Рогачев. В.А., Баранюк А.В., Бурлей В.Д. // Современная наука. – 2010, №2 (4), стр.64-67.
4. Хейфец Л.И. Определение коэффициента теплообмена. Методическое руководство, 1999. – 19 с.
5. Теплообмен при течении жидкости в трубчатых каналах / Стерлигов В.А., Сулейманов А.А., Губарев В.Я. и др. // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 304 с.
6. Стерлигов В.А. Тепловой режим при течении жидкости в канале трубчатой поверхности теплообменника / Труды четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. – М: Издательство МЭИ. – 2006, стр.252-254.
7. Ащиянц Э.П. Определение длины начального участка при развитии ламинарного течения вязкой несжимаемой жидкости в круглой цилиндрической трубе // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2007. – Т.60, N 4. – С. 414-419.

					Исследование гидродинамики и теплообмена при неизотермическом течении углеводородной вязкой среды в трубопроводе, проложенном в районе многолетнемерзлых грунтов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Маношкин Н.С.			Список использованных источников и литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов С.Н.					99	104
Консульт.						НИ ТПУ зр. 2БМ72		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

8. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 513 с.
9. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. – М.: Энергия, 1967,- 412 с.
10. Бубенчиков А.М., Харламов С.Н. Математические модели неоднородной анизотропной турбулентности во внутренних течениях. – Томск: Томский государственный университет, 2001. – 448 с.
11. Бубенчиков А.М., Комаровский Л.В., Харламов С.Н. Математические модели течения и теплообмена во внутренних задачах динамики вязкого газа. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1993. – 178 с.
12. Лейбензон Л.С. О движении подогретой вязкой жидкости. –М.: Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1992, №2 (3) и 4 (5); 1924, №3 (27).
13. Мастобаев Б.Н., Нечваль А.М., Гареев М.М. и др. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Справочное пособие: в 2 т./под общ. ред. Ю.В. Лисина. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2017. – Т. 1. – 494 с.
14. Мастобаев Б.Н., Нечваль А.М., Гареев М.М. и др. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Справочное пособие: в 2 т./под общ. ред. Ю.В. Лисина. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2017. – Т. 2. – 519 с.
15. Губин, В.Е. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов/ В.Е.Губин, В.В. Губин - М.: Недра, 1982. – 296 с.
16. Земенков Ю.Д., Моисеев Б.В., Богатенков Ю.В., Налобин Н.В., Дудин С.М. Энерготехнологические комплексы при проектировании и эксплуатации объектов транспорта и хранения углеводородного сырья/ Ю.Д. Земенков, Б.В.Моисеев, Ю.В.Богатенков, Н.В.Налобин, С.М. Дудин. Под общ.ред. Б.В. Моисеева– Тюмень: ТюмГНГУ, ТюмГАСУ, 2015. – 256 с.
17. Земенков, Ю.Д. Тепломассообменное оборудование и тепловые процессы в системах транспорта и хранения нефти и газа: учебник/

					Список использованных источников и литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

Ю.Д.Земенков, Б.В.Моисеев, Ю.В.Богатенков, Н.В.Налобин – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 176 с.

18. Ремизов, В.В. Особенности строительства объектов в нефтегазодобывающих районах Западной Сибири/ В.В.Ремизов, А.Ф.Шаповал, Б.В.Моисеев и др. – М.: «Недра», 1996. – 371 с.

19. Степанов, О.А. Теплоснабжение на насосных станциях нефтепроводов. Учебное пособие/ О.А.Степанов, Б.В.Моисеев, Г.Г. Хоперский– М.: Недра, 1998. – 302 с.

20. Тарг С.М. Основные задачи теории ламинарных течений: – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951. – 420 с.

21. Моисеев Б.В., Земенков Ю.Д., Налобин Н.В., Земенкова М.Ю., Дудин С.М. Методы теплового расчета трубопроводов различного назначения: монография / Под ред. Б. В. Моисеева. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 183 с.

22. Тарасов М.Ю., Примаков С.С., Бояркин В.Е. Проектные решения системы сбора и транспорта нефти из нефтяных оторочек нефтегазоконденсатных месторождений Крайнего Севера // Нефтяное хозяйство, 2012. – № 2. – С. 98-101.

23. РД 39-30-139-79 Методика теплового и гидравлического расчета магистральных трубопроводов при стационарных и нестационарных режимах перекачки ньютоновских и неньютоновских нефтей в различных климатических условиях

24. СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.

25. СНиП 2.05.06-85 «Магистральные трубопроводы

26. Приказ Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 № 290н (ред. от 12.01.2015) «Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты.

					Список использованных источников и литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

27. Приказ Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 № 290н (ред. от 12.01.2015).

28. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Методические рекомендации. МР 2.2.7.2129-06" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19.09.2006).

29. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

30. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. О ситуации по клещевому энцефалиту и другим заболеваниям, передающимся при укусе клещей .

Электронный ресурс:  
[http://rospotrebnadzor.ru/region/rss/rss.php?ELEMENT\\_ID=6124](http://rospotrebnadzor.ru/region/rss/rss.php?ELEMENT_ID=6124) (дата обращения 25.04.2019)

31. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации Приказ № 454н «Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам связи, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением».

32. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

33. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»

34. ГОСТ 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

35. РД 34.21.122-87 «Инструкция по молниезащите зданий и сооружений»

36. ГОСТ 12.1.001-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования.

					Список использованных источников и литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

37. РД 153-39ТН-008-96. Руководство по организации эксплуатации и технологии технического обслуживания и ремонта оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций.
38. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы»
39. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
40. ГОСТ 12.1.003–83 «Шум. Общие ТБ»
41. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность»
42. ГОСТ 12.1.007 «Вредные вещества»
43. ГОСТ 12.1.011-78\* «Классификация взрывоопасных смесей»
44. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах»
45. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
46. Приказ Федеральной антимонопольной службы от 16 ноября 2018 года № 1567/18 Об установлении тарифов на услуги ПАО «Транснефть» по транспортировке нефти по системе магистральных трубопроводов
47. План закупок на 2015 г. [Электронный ресурс]. – электрон. табл. – АО «Транснефть – Сибирь», 2015, режим доступа: <http://sibnefteprovod.transneft.ru/tenders/plan/>.
48. РД 153-39.4.-113-01. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов
49. Armaly B.F., Durst F., Pereira J.C.F., Schonung B.. Experimental and theoretical investigation of backwardfacing step flow // J. Fluid Mech. – 1983. – № 127. – P. 473–496.
50. Shah R.K., London A.L. Laminar Forced Convection in Ducts // Academic Press, New York. – 1978. – P. 196–198.
51. Nonino C. Temperature dependent viscosity effects on laminar forced

convection in the entrance region of straight ducts / C. Nonino, S. Del Giudice, S. Savino // International Journal of Heat and Mass Transfer. - 2006. - № 49. -P. 4469-4481.

52. Armaly B.F. Measurements in three-dimensional laminar separated flow / B.F. Armaly, A. Li, J.H. Nie // International journal of heat and mass transfer. -2003.– P. 3573-3582.

					Список использованных источников и литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104